

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADE MARK OFFICE

VERIFICATION OF TRANSLATION

I, Michael Wallace Richard Turner, Bachelor of Arts, Chartered Patent Attorney, European Patent Attorney, of 1 Horsefair Mews, Romsey, Hampshire SO51 8JG, England, do hereby declare that I am conversant with the English and German languages and that I am a competent translator thereof;

I verify that the attached English translation is a true and correct translation made by me of the attached specification in the German language of International Application PCT/EP2004/08460;

I further declare that all statements made herein of my own knowledge are true and that all statements made on information and belief are believed to be true; and further that these statements were made with the knowledge that willful false statements and the like so made are punishable by fine or imprisonment or both under Section 1001 of Title 18 of the United States Code and that such willful false statements may jeopardize the validity of the application or any patent issued thereon.

Date: February 9, 2004

Michael Wallace Richard Turner
M W R Turner

BEST AVAILABLE COPY

Information transmission with energy budget management

The present invention concerns a method of transmitting a plurality of symbols each with at least one bit from a transmitter to at least one receiver using at least one channel and a method of organizing a network wherein for each transmission of a plurality of symbols each having at least one bit from a transmitter to at least one receiver using at least one channel symbols are transmitted. The invention further concerns a transmitter, a receiver and a transmitting and receiving system for carrying out the method.

Communication engineering is generally concerned with the transmission of information from a communication source, a transmitter, to the communication destination, a receiver. The medium used for transmission is referred to as a channel.

The various channels which can be used in communication engineering for the transmission of items of information between a transmitter and a receiver differ substantially from each other. Wired connections are distinguished on the one hand by little interference and on the other hand by an only limited bandwidth. On the one hand a great deal of interference and many echoes and on the other hand a relatively great bandwidth are characteristic of wireless connections. In addition there are glass fiber connections involving extremely great bandwidths and low levels of interference.

For example the bandwidth, the maximum transmission power and time are defined as channel resources. Instead of that for example spectral power density or spectral energy density is defined in specific uses.

Economical use of the channel resources is sought to be achieved by the joint use thereof for as many connections as possible. In particular, in the case of large networks such as local telephone networks, in the sense of making as extensive use as possible of the available channel capacity, it has not proven to be appropriate to allocate a fixed part of the available channel capacity to each subscriber in the context of a line-switched connection. In previously known transmission methods, channel capacity is

distributed to the individual subscribers in an LAN, WLAN, GSM network, UMTS network, telephone network, and so forth, using various multiplexing procedures.

5 All multiplex methods involve dividing up the available channel capacity. In the TDMA (Time Division Multiple Access) and FDMA (Frequency Division Multiple Access) methods that division is effected at the physical level insofar as time slots or frequency bands are set up, which are allocated to different users. In addition there are CDMA (Code Division Multiple Access) systems which implement that division by coding insofar
10 as various codes which are orthogonal in specific implementations are associated with each user so that the message intended for one receiver can be separated from the messages for other receivers, when the respective code is known at the receiver end.

The planning and development of a network are implemented in
15 consideration of the various channel properties. For example optimization of the cell size in a GSM network is effected in dependence on the geographical position and thus the existing subscriber density and the multipath conditions. In that respect planning processes are geared to what is referred to as the worst case scenario. In other words, a maximum
20 distance in the network or a minimum reception power (sensitivity) is predetermined. The network is so dimensioned that all subscribers can receive the same symbol rate.

That ensures that even those receivers for which the worst transmission conditions apply can still be afforded a minimum level of
25 transmission quality. Transmission quality can be quantified for example on the basis of an error recognition rate, for example a bit error rate (BER), at the receiver. In the context of this application the different kinds of error rates which are known to the men skilled in the art are summarized by the generic term error recognition rate.

30 The state of the art in the field of channel management will now be described by reference to some examples.

a) WLAN Standard 802.11 b

In accordance with this Standard for local wireless transmission networks (wireless local area network, WLAN) for the transmission of data in the ISM band at 2.45 GHz:

- CDMA sequences are used in order to be robust in relation to
5 multipath propagation,
- optionally RAKE receivers are used in order to provide for optimum
 focusing of the energy of the individual multiple paths,
- error-correcting codes are used in order to decrypt the correct
 information in spite of individual errors in the data stream, and
10 • various modulation modes (BPSK, QPSK, CCK) are used in order to
 transmit the maximum data rate or a data rate complying with the
 requirements involved, depending on the respective quality of the
 channel.

Thus, for individual peer-to-peer connections within a network,
15 depending on the respective quality of the available transmission channel,
 it is possible to adapt the data rate to the factors involved so that
 connections of differing speeds can be dynamically set up in a network.

In regard to the properties of the transmission channel it is thus
possible either to transmit the maximum data rate of 11 Mbps or to use an
20 additional convolution code and to drop to 5.5 Mbps, or, in the case of even
 worse channels, to avoid higher-grade CCK modulation and to transmit only
 with QPSK or even only with BPSK so that the data rate drops to the
 symbol rate used during transmission (1 MSps) and only 1 Mbps is still
 possible. In that respect various modulation modes are used while
25 retaining the original spread of the data symbol. Subscribers who suffer
 from excessively great attenuation because of an excessively great distance
 away can no longer be reached. Furthermore the capacity of the channel is
 thus not put to optimum use.

b) UMTS

30 This mobile radio standard (Universal Mobile Telecommunication
 Service) has similar properties to the Standard 802.11 b. In the mobile
 radio area a large number of subscribers have access to a base station. For
 that purpose a CDMA (Code Division Multiple Access) method is used, in

which each subscriber has dynamically allocated a fixed code. In addition the antennae of the base station are so arranged that various sectors are produced, which have only slight influence on each other ("space diversity").

5 UMTS has power management which tries to keep approximately equal the power of all subscribers, which is received in the base station. That is of crucial significance in terms of the separation of the CDMA channels. At the same time the endeavor is to match all subscribers in a network to a lowest possible level of transmission power.

10 The use of long CDMA sequences and rake receivers permits that system a certain degree of robustness in relation to strong multipath propagation. Nonetheless the cell size here is greatly limited in comparison with the GSM system. The bandwidth used is relatively great by virtue of a spread method employed. Nonetheless each subscriber has only a
15 comparatively greatly reduced data rate, by virtue of the CDMA sequences used, which represent a data symbol.

Spreading is effected by a procedure whereby, in relation to the predetermined bandwidth, short physical symbols are defined, which are referred to as chips. The transmitted symbols carrying information or
20 subscriber-specific CDMA sequences extend over a plurality of chips.

The system constructed in that way is rigid and guarantees the maintenance of a minimum transmission quality for each subscriber of a cell. The fact that this is no longer sufficient in modern networks was however something of which the developers were aware so that here
25 dynamic configurational options were additionally incorporated.

A particularity of the UMTS system is to permit channel bundling. In that case a plurality of logical channels are allotted to an individual user. So that the user does not have to receive in parallel a plurality of CDMA sequences, shortened sequences are used here. The data rate is increased
30 in that way. In that fashion a higher data rate can be offered to what are referred to as power users, in return for a corresponding fee.

On the other hand the robustness of data transmission also falls with a data rate which is increased in that way. The increased data rate is

therefore only available in respect of channels which have a sufficiently good quality, that is to say a low noise power. In addition the levels of interference in relation to other users increase and management complication and expenditure rises tremendously because it is only possible to use specific channels for bundling, which must all contain the new abbreviated code. The decisive point however is that the channel resources present are not put to optimum use here.

DE 199 37 706 A1 discloses a transmission method with frequency and time spreading at the transmission end. In this transmission method which is also referred to as a multidimensional multiple access method (MDMA), the information symbols to be transmitted are subjected at the transmitter end to frequency spreading and time spreading. In addition a different transmission power can be allotted to the individual subscribers. The reception signals are unspread at the receiver end. The respective spreading effects and thus the system gain can be adaptively matched to the required transmission quality and the currently prevailing channel properties. The extent of time spreading can be implemented when making a connection between a base station and a subscriber station in dependence on reference pulses which serve to ascertain the channel properties.

MDMA makes it possible to be adapted to any requirement within a network and each subscriber and the quality demands thereof. MDMA therefore represents a machine which technically can be used to provide for optimum supply to each subscriber.

That on its own however is still not enough. The question which arises is this: How must a network be managed so that the valuable benefits for the users such as data rate, range, error protection, robustness and so forth can be offered in the optimum fashion? In other words, how is the machine to operate in an organizational fashion in order to convert the flexibility of MDMA into an economic advantage?

Therefore the object of the present invention is to provide a method of transmitting at least one symbol from a transmitter to at least one receiver, which affords a data rate which is as high as possible according to

the transmission condition between the transmitter and the respective receiver. Following therefrom as a further aspect of the technical object of the invention is the provision of a method of organizing a network which affords any subscriber within a network a data rate which is as high as possible according to the transmission conditions between the transmitter and the respective receiver and which in that respect better utilizes the available channel resources.

5
10 In accordance with a first aspect of the invention there is proposed a method of transmitting a plurality of symbols each having at least one bit from a transmitter to at least one receiver using at least one channel and a predetermined transmission power,

- wherein the symbols are transmitted with a receiver-specific transmission energy which on the part of the receiver results in the reception of the symbol with a reception energy which corresponds to an upper limit value associated with the receiver or a lower value of an error recognition rate, and

15
20 - wherein to achieve the receiver-specific transmission energy and at the same time a bit rate which is as high as possible in dependence on the currently prevailing transmission conditions between the transmitter and the receiver the symbol duration, or the number per symbol of transmitted bits, or the symbol duration and the number per symbol of transmitted bits is adapted.

In accordance with a second aspect of the invention there is proposed a method of organizing a network wherein for each transmission of a plurality of symbols each with at least one bit from a transmitter to at least one receiver using at least one channel and a predetermined transmission power the symbols are transmitted

25
30 - with a receiver-specific transmission energy which on the part of the receiver leads to the reception of the symbol with a reception energy which corresponds to an upper limit value associated with the receiver or a value of the error recognition rate occurring, which is lower in comparison with the upper limit value,

- wherein in dependence on the currently prevailing transmission conditions between the transmitter and each individual receiver to achieve the receiver-specific transmission energy and at the same time a bit rate which is as high as possible the symbol duration, or the number per symbol of transmitted bits, or the symbol duration and the number per symbol of transmitted bits is adapted.

The two proposed methods are based on the same invention. The method of the invention in accordance with the first aspect thereof, referred to hereinafter as the transmission method according to the invention, sets forth a technical rule for data transmission between a transmitter and at least one receiver. The use of that technical rule in a network for each transmission of a plurality of symbols between a transmitter and at least one receiver forms, based thereon, a technical rule for the organization of the network in accordance with the method set forth in the second aspect of the invention. The latter method is also referred hereinafter as the network organization method according to the invention.

The use of the transmission method of the invention can also be effected without using the network organization method according to the invention, insofar as the transmission method according to the invention is not used in every transmission.

It will be appreciated that the use of the network organization method according to the invention presupposes the use of the transmission method. For, the network organization method concerns any data transmission in the network. The use of the network organization method permits a maximum in terms of efficiency increase, as is explained in detail hereinafter.

Some terms used hereinafter will be explained in greater detail hereinafter, for better understanding of the invention.

The term symbol in accordance with the invention is used to denote a signal representing a logic symbol unless otherwise stated. A logic symbol can contain one or more bits.

The transmission of symbols with a receiver-specific transmission energy means that basically the transmission energy is determined

individually for each individual receiver. In accordance with the invention determination of the transmission energy is effected with the proviso that on the part of the receiver reception of the symbol takes place with a reception energy which corresponds to an upper limit value associated with the receiver or a lower value in respect of an error recognition rate.

That does not exclude the same transmission energy being determined for a group of a plurality of receivers, if for example identical current transmission conditions apply for that group of receivers at approximately the same distance from a transmitter.

The term predetermined transmission power, as a distinction from known power management methods, is used to denote a transmission power which is not variable in the context of the methods according to the invention and which is maintained on a time average. If in addition or alternatively an upper limit in respect of peak power is predetermined, that is maintained in the context of the methods according to the invention. It is however also possible that the transmission power presetting is altered externally, whereupon the methods according to the invention react accordingly by adaptation of the symbol duration or the number of bits per symbol or by adaptation of both parameters. Various embodiments concerning the transmission power presetting are explained hereinafter.

The currently prevailing transmission conditions are defined by all parameters which influence the present receiver-end error recognition rate. An influence on the transmission conditions is formed for example by the distance between the transmitter and the receiver (distance attenuation), multipath attenuation and interference effects resulting therefrom at the receiver, interference disturbances for example from adjacent transmitters and noise, shadowing effects due to obstacles in the signal path, channel interference effects and system interference effects, as well as the modulation mode used and the time duration of the symbols.

The upper limit value of an error recognition rate which is used can be for example a value of a bit error rate (BER), a frame error rate (FER) or a block error rate (BLER) or any equivalent value with the significance of an error recognition rate.

The association of a limit value of an error recognition rate with a receiver arises for example from a maximum error recognition rate guaranteed compatible with the user of the receiver, or a service type linked to the data transmission between the transmitter and the receiver
5 (telephone conversation, e-mail, multimedia data transmission, data transmission in the context of a security use etc.).

The expression highest possible data rate is used to denote that data rate which is the highest possible when using the predetermined transmission power and the receiver-specific transmission energy per
10 symbol while maintaining the maximum error recognition rate associated with the receiver. This means that the data rate can vary from one receiver to another, in contrast to previously known methods. That is described in greater detail hereinafter with reference to the Figures.

The solution according to the invention is firstly considered in greater
15 detail hereinafter before embodiments by way of example are described.

The transmission method of the invention moves away from the known power regulation methods (power management). Inter alia for example the known GSM or CDMA methods control the power of the transmitter. That is economically inefficient for a network operator. For,
20 regulation of the transmission power in the context of power management means that the channel capacity available to a network operator cannot be put to optimum use. Furthermore the present invention is based on the consistent transposition of the realization that, for achieving an upper limit value in respect of an error recognition rate on the part of the receiver it is
25 not the reception power but the reception energy per bit that is decisive.

In accordance with the invention therefore it is proposed that a receiver-specific regulation of the transmission energy of a symbol to be transmitted is effected by adaptation of the symbol duration or by adaptation of the number of bits transmitted with the symbol or by both
30 measures in combination, in each case using a respective predetermined transmission power. As a result each of the measures provided for adjustment of the transmission energy effects adaptation of the symbol duration per bit, that is to say the ratio of the symbol duration to the

number of bits contained therein. What is crucial for adaptation in each case is observing, or, in an alternative form of the method, falling below, an upper limit value in respect of an error recognition rate associated with the respective receiver, when using the predetermined transmission power, as well as achieving a data rate which is as high as possible. The transmission method according to the invention, to clearly indicate the distinction from power management methods, can also be referred to as energy management in the form of bit duration management (BDM). That is a significant difference in relation to previously known methods and this signifies and permits a completely new network organization.

On the basis of bit duration management the network organization method according to the invention permits more efficient use of the channel capacity available to a network operator. In a network the aim is to supply a plurality of subscribers with a given amount of information in a given period of time. With a predetermined transmission power the given period of time requires an energy budget which is available in total for all subscribers. The network organization method according to the invention optimizes each channel in receiver-specific manner, more specifically in such a way that the energy required to achieve the predetermined error recognition rate and a data transmission which is as fast as possible, that is to say a data rate which is as high as possible, is allocated to each symbol intended for a subscriber. That provides that, in comparison with known network organization methods, either a larger amount of information can be transmitted or more subscribers can be supplied.

That is not successfully attained by regulation of the transmission power because a reduction in the transmission power below the transmission power resetting value in the context of power management does not fully use the resource of transmission power and therewith the available channel capacity. Full utilization is successfully achieved only when observing the transmission power presetting.

The network organization method according to the invention thus uses the parameters available to the network operator as an energy budget, namely transmission power and time, in an improved manner. The

network organization method of the invention is therefore also referred to hereinafter as energy budget management (EBM).

Embodiments by way of example of the methods according to the invention are described in greater detail hereinafter. As the transmission method forms so-to-speak the elementary cell of the network organization method, the embodiments described by way of example hereinafter relate both to the transmission method and also to the network organization method of the invention.

Each of the three proposed measures for adapting the transmission energy which cause a change in the symbol duration per bit corresponds according to the invention to an independent transmission method. A combination of the adaptation alternatives is advantageous but not necessary.

In a first embodiment of the transmission method according to the invention it is therefore provided that solely the symbol duration is adapted. A second embodiment provides that solely the number of bits per symbol is adapted. A third embodiment provides that the number of bits per symbol and the symbol duration are adapted at the same time.

Further embodiments by way of example of the transmission method according to the invention provide a selection step in which a selection is made between two or three of the stated adaptation options: a fourth embodiment uses selectively solely adaptation of the symbol duration or solely adaptation of the number of bits per symbol. A fifth embodiment uses selectively solely adaptation of the symbol duration or adaptation of the symbol duration and at the same time of the number of bits per symbol. A sixth embodiment uses selectively solely adaptation of the number of bits per symbol or adaptation of the symbol duration and at the same time the number of bits per symbol. A seventh embodiment uses selectively solely adaptation of the symbol duration or solely adaptation of the number of bits per symbol or adaptation of the bit duration and at the same time the number of bits per symbol.

Preferably in a further embodiment a change can be implemented between a plurality of or all of the above-mentioned embodiments.

Some embodiments concerning the transmission power presetting are discussed hereinafter.

In an embodiment of the invention the transmission power and/or electrical field strengths and/or magnetic field strengths and/or spectral power densities are at a maximum in channel-specific manner on time average and within the limits of admissible power radiation. The admissible transmission powers and/or electrical field strengths and/or magnetic field strengths and/or spectral power densities are predetermined by regulatory authorities. In the case of the network organization method according to the invention, energy budget management, maximum utilization of the available energy budget is achieved in that way. The time average relates to those time segments whose reciprocal is markedly less than the bandwidth.

In a further embodiment on time average the transmission power is at a maximum within the limits of the technical design of the transmitter. If it remains below the admissible power, the maximum of the technically possible utilization of the energy budget available to the transmitter is achieved in that way.

In a further embodiment the transmission power can be preset. The change in the transmission power presetting represents an external intervention in the procedure of the method according to the invention. For example, a selection option in respect of the transmission power presetting can be provided for the user of a mobile terminal, in the context of this embodiment. In that way the user can adjust the transmission power according to his wishes, for example to keep the radiation of the device in an environment which is susceptible to interference, as low as possible. Then, with the transmission conditions remaining the same, a reduction in the transmission power presetting causes a reduction in the maximum data rate which can be achieved as, in the transmission procedure, to achieve the transmission energy, the symbols are transmitted with a greater symbol duration or with a correspondingly smaller number of bits or both.

Described hereinafter are embodiments which concern the operation of ascertaining the required transmission energy.

In a further embodiment there is provided a step for ascertaining a currently prevailing value of the reception energy with a given transmission energy. For example an RSSI measurement (radio signal strength indicator) in respect of the received power can be carried out on the part of the receiver and a signal dependent on the measurement result can be transmitted back to the transmitter.

Alternatively or in addition there can be provided a step for ascertaining a currently prevailing value of the error recognition rate at the transmitter or receiver. In that case the error rate can be ascertained by determining the number of errors within a received data frame. Alternatively the error recognition rate can be ascertained by averaging the number of errors in a plurality of data frames. Furthermore the error recognition rate can be ascertained by means of the number of negative receipt signals of the receiver over a predetermined period of time. The error recognition rate is for example a bit error rate (BER), a block error rate (BLER) or a frame error rate (FER). Frequently used redundant codings and repetition strategies are included therein.

In a further embodiment adaptation of the symbol duration is effected in dependence on the currently prevailing value of the error recognition rate at the receiver end or on a currently prevailing value, at the receiver end, of the noise power density.

In a further embodiment the receiver communicates to the transmitter the currently prevailing error recognition rate or the currently prevailing value of the noise power density. Alternatively or in addition the transmitter estimates the currently prevailing error recognition rate at the receiver end or the currently prevailing value of the noise power density.

In a further embodiment the symbol duration or the number of bits contained in a symbol or both is re-adjusted dynamically in dependence on currently prevailing transmission conditions between the transmitter and the receiver, in an existing connection or an ongoing data traffic, without the connection or the data traffic being interrupted. In other words, setting of the symbol duration is effected not only when making the connection but also during the existing connection, and more specifically preferably

transparently for the receiver. The change in symbol duration can be effected in respect of time continuously, alternatively quasi-continuously, or alternatively at predetermined time intervals, during the connection.

In a preferred embodiment the symbol duration is individually adapted in channel-specific fashion, that is to say on each channel used. In particular it is possible in that way to send to a receiver to which symbols are transmitted on a plurality of channels, symbols which are adapted in respect of their duration individually on each channel in accordance with the transmission conditions there.

In an embodiment the symbol duration is limited to short symbol duration values in channel-specific manner solely by the bandwidth of the channel. That provides a particularly wide range of values for varying the symbol duration. The symbol duration can be determined from a continuous spectrum of values, or alternatively from a discrete spectrum of values, in which respect the discrete spectrum of values contains the integral multiples of a symbol duration which is the shortest possible in channel-specific manner.

In a preferred embodiment the symbol duration T_{symbol} is determined at the transmitter end in accordance with the following formula:

$$T_{symbol} = \frac{E_{min} \cdot \left(\frac{r}{r_0} \right)^\alpha}{P_{send}} \quad (1)$$

wherein E_{min} is the reception energy which corresponds to the upper limit value of the error recognition rate, associated with the receiver, P_{send} is the maximum transmission power, r is the distance between the transmitter and the receiver, r_0 is a reference distance and α is a propagation coefficient.

Described hereinafter are embodiments which concern adaptation of the number per symbol of transmitted bits or the selection of a symbol type.

In a further embodiment of the invention selection of the number per symbol of transmitted bits is effected in dependence on the currently

prevailing value of the error recognition rate at the receiver end or a currently prevailing value at the receiver end of the noise power density.

Preferably the number per symbol of transmitted bits is adapted in channel-specific manner. That can mean that a receiver receives different symbol types on different channels within a connection. In that way the data rate on each channel can be individually optimized.

In a further embodiment adaptation of the number per symbol of transmitted bits is effected when a symbol duration which is very short in channel-specific terms is already being used. That saves on control communication between transmitter and receiver for communicating the symbol type to be used, for as long as possible.

In a further embodiment a symbol type with the highest possible number of bits is selected for transmission, which at the receiver end does not cause the upper limit value of the error recognition rate to be exceeded.

Embodiments concerning various transmission alternatives are described hereinafter.

In a further embodiment the symbols are respectively transmitted divided up onto a sequence of chips. In that case the symbols can be spread in respect of frequency insofar as they are modulated with a noise sequence (true noise) or a pseudo-noise sequence, the noise or pseudo-noise sequence being known to the receiver. Preferably the noise or pseudo-noise sequence is dynamically adapted to the selected symbol duration. That can be effected for example by a procedure whereby the first chips are always removed from a long m-sequence so that in total they afford the symbol duration.

Alternatively it is possible to use CDMA sequences instead of the pseudo-noise sequences so that a plurality of connections can be formed in parallel relationship.

Maximum utilization of the available channel resources is achieved in relation to the frequency axis when the symbols are transmitted in such a way that the available channel bandwidth is fully used. Preferably

therefore the symbols are transmitted in a condition of being frequency-spread.

Chirp signals show that long symbols do not necessarily signify a small bandwidth. In a particularly preferred embodiment the symbols are therefore transmitted in the form of a chirp signal. In that case the long symbols can be replaced by chirp signals which are of the same duration. In that case the product of time duration and transmission power is identical for both pulse forms, that is to say the energy is the same. The chirp signals however represent frequency modulation which in the simplest case extends linearly but generally can assume any, preferably either monotonically rising or monotonically falling function configurations and which can extend over the entire predetermined bandwidth. In that way the signals are spread in respect of frequency.

In a further embodiment the chirp signals of the transmitter, which are intended for a respective receiver, can be mutually superimposed in respect of time. In that case preferably the total of the amounts of power, emitted in a moment in time, of the mutually superimposed chirp signals, is equal to the maximum admissible transmission power on the channel.

The above-mentioned signal spreading effect gives rise to a spreading gain which is helpful for channels which suffer from very severe multipath propagation and/or additional interference signals. In that case the quality of the received signals is heavily dependent on the selected spreading of the signal. Energy budget management directly involves that value because the maximum bandwidth can always be used. Accordingly spreading and at the same time symbol energy increase with an increasing time duration of the pulses.

The energy contained in the spread symbol can be put to optimum use if suitable correlation receivers are used, for example if there is a suitable matched filter in the receiver, which has to be dynamically adapted.

Alternatively, in the case of the long symbols it is also possible to superimpose an FDMA method so that the available bandwidth is divided and the user addressed is allocated only a small part of the bandwidth,

which corresponds to the length of the respective data signal. It would then be possible for two or more FDMA channels to be operated in parallel.

In that respect the dynamics of the transmitter are of crucial significance as, upon division into FDMA channels, at the same time the
5 above-discussed case with poor channel conditions is allocated a smaller bandwidth and therefore the optimum symbols are longer and a channel with good conditions is allocated in parallel shorter symbols and thus a greater bandwidth.

It is found here that the energy budget management according to
10 the invention can be linked to practically any modulation mode and any access method.

In a further embodiment a multiplexing method, preferably a TDMA method, is used on a channel as soon as the transmission load of the channel allows. In that way it is possible to guarantee better utilization of
15 the channel capacity for a channel which is associated with a receiver with good transmission conditions and by way of which therefore the items of information to be transmitted can be transmitted in only a short time. In that situation the optimum symbol energy is determined by the error recognition rate for various modulation modes being considered and by that
20 modulation mode being selected, with which the required transmission quality is just still ensured. At the same time that provides for the selection of that higher-stage modulation with which the data can be transmitted as quickly as possible so that the channel capacity involved is put to optimum use. In that situation the symbol duration is not altered as
25 it is already reduced to the minimum value corresponding to the reciprocal of the bandwidth.

In a preferred embodiment the transmitter is a mobile terminal of a user and prior to transmission of the symbol to a base station the transmitter receives from the base station information about a frequency
30 band to be used for the transmission.

In a further embodiment the base station checks incoming signals of the mobile terminal with a plurality of modulation modes and uses a modulation mode recognized as being correct for reception of the signals of

the mobile terminal. For example the base station receives signals by means of a plurality of receivers, wherein a modulation mode is associated with each receiver, and the mobile terminal uses one of the modulation modes available at the transmitter end, for transmission of symbols to the
5 base station.

In accordance with a further aspect there is provided a transmitter for carrying out the method according to the invention.

A transmitter for carrying out a method has a transmitting unit which is adapted to produce signals representing logic symbols (in this paragraph
10 hereinafter referred to as symbols) and emitting same, wherein a logic symbol represents either a bit or a plurality of bits. In addition the transmitter has a control unit which is adapted on the basis of items of information present about currently prevailing transmission conditions between the transmitter and a receiver of the symbols to produce and
15 deliver control signals which prescribe for the transmitting unit a receiver-specific transmission energy which corresponds to an upper limit value in respect of a error recognition rate associated with the receiver or a lower value than the limit value of the error recognition rate, wherein the control unit is additionally adapted, for the purposes of achieving the receiver-
20 specific transmission energy and at the same time a bit rate which is as high as possible in dependence on the currently prevailing transmission conditions between the transmitter and the receiver, to produce and deliver control signals which prescribe for the transmitting unit the use of symbols with a suitably adapted symbol duration, or with a suitably adapted number
25 per symbol of transmitted bits, or with a suitably adapted symbol duration and a suitably adapted number per symbol of transmitted bits.

Embodiments of the transmitter according to the invention are set forth in claims 46 through 77. The advantages of the transmitter according to the invention and the embodiments thereof follow directly and clearly
30 from the foregoing description of the method aspects of the invention and the different embodiments of the method according to the invention.

In particularly preferred embodiments by way of example of the transmitter according to the invention signals which can be emitted are stored in a memory or can be read out of a shift register structure.

Alternatively or additionally in a particularly preferred embodiment
5 the transmitting unit of the transmitter is adapted to produce any signal to be emitted by the execution of one or more algorithms which are implemented in the form of a suitable circuit or in the form of software. The transmitting unit produces the respective signal which is currently to be emitted in dependence on control signals from the control unit. In that way
10 it is possible to produce any signal forms, for example chirp signals or BPSK signal sequences.

Preferably the transmitting unit has a signal sequencer and an IQ modulation unit connected at the output side thereof. A signal to be emitted, after the production thereof, is passed to the signal sequencer and
15 then to the IQ modulation unit and then converted directly into the carrier band.

Further preferred embodiments of the transmitter according to the invention have a programmable transmitter structure (software radio). The transmitter structure, in particular the operating modes of the transmitter,
20 are preferably dynamically variable. A plurality of transmission symbols can be produced in that way.

A further embodiment of the transmitter according to the invention has a channel estimation unit in order to determine the channel properties as exactly as possible.

25 In accordance with a further aspect of the invention there is provided a receiver for carrying out the method according to the invention. The features of the receiver according to the invention and its preferred embodiments follow directly and clearly from the description of the method aspects and the embodiments therein.

30 Preferably the receiver has a programmable receiver structure (software radio). The receiver structure and in particular the operating modes of the receiver are dynamically variable in an embodiment.

In accordance with a further aspect there is provided a transmitting and receiving system for carrying out the method according to the invention. The features of the transmitter-receiver arrangement according to the invention and various embodiments are described in claims 78 through 82. The advantages thereof follow directly and clearly from the foregoing description of the method aspects and the transmitter according to the invention and the receiver according to the invention.

The invention is described in greater detail hereinafter by means of embodiments by way of example and with reference to the Figures:

10 Figure 1 is a diagram which serves to explain the term "energy budget" of a transmitter on the basis of the relationships between the magnitudes of spectral transmission power density, transmission frequency and time,

15 Figure 2 is a diagram in which the reception energy E_{receive} is plotted as a function of the distance between the transmitter and the receiver in a method in accordance with the state of the art,

 Figure 3 is a diagram in which, to describe an embodiment, the transmission power and the reception power are shown with the reception energy remaining the same as a function of time for different receivers,

20 Figure 4 is a diagrammatic drawing of a wireless local loop for comparing a power management method and the energy budget management,

 Figure 5 shows a further view to compare a power management method and energy budget management,

25 Figure 6 is a diagrammatic representation of a data frame in a TDMA method in accordance with the state of the art,

 Figure 7 is a diagrammatic representation of a data frame in a TDMA method with energy budget management,

30 Figure 8a shows compressed symbols with different frequency spreading,

 Figure 8b shows a representation of superimposed, time-spread signals, and

Figures 9 through 13 shows block diagrams of different embodiments by way of example of transmitter-receiver structures.

Figure 1 shows a diagram which in a three-dimensional representation illustrates relationships between the magnitudes energy density ED, transmission frequency f and time t. The time t is plotted on the horizontal axis which is in the plane of the paper (x-axis) while energy density ED is plotted on the vertical axis in the plane of the paper (y-axis). The transmission frequency f is plotted on the axis which extends away in perpendicular relationship to the plane of the paper (z-axis).

Below the time axis the duration of a data frame is represented by the length of a double-headed arrow identified by T_{FRAME} between two moments in time t_1 and t_3 . Symbols 13 through 16 are also represented, as portions of a cuboid EB along the time axis. The symbols 13 through 16 have different symbol durations T_{symbol} . For the symbol 13 the symbol duration T_{symbol} is illustrated by means of a double-headed arrow between the moments in time t_1 and t_2 .

A bandwidth B which is available on a channel between two limit frequencies f_1 and f_2 is identified by the length of a double-headed arrow arranged parallel to the z-axis.

During a symbol duration T_{symbol} the spectral energy density:

$$ESD = ED_{max} \cdot T_{symbol} \quad (2)$$

can be transmitted at a maximum on a frequency f. Its value is provided in the representation in Figure 1 for the symbol 13 as the area content of a rectangle 10 which extends in an (ED,t) plane determined by the frequency over the period of time T_{symbol} of the symbol 13 and the energy span from 0 through ED_{max} . The three-dimensional representation therefore contains the classic definition of spectral energy density.

The power P which can be radiated by the transmitter at a moment in time corresponds to a given moment in time t in the diagram in Figure 1 of an (ED,f) plane 12 of the cuboid EB. The three-dimensional representation therefore contains the classic definition of present power.

The illustrated energy density can be determined for example with a Wigner-Ville transformation.

The spectral energy density at a given frequency f is limited upwardly to a value ESD, for example in consideration of statutory provisions. Equally the mean or maximum transmission power is limited in consideration of statutory provisions or in consideration of the technical options of the transmitter which limits its transmission power to a maximum value. The energy density which is possible on the basis of such a limitation is symbolized by the length of a double-headed arrow arranged parallel to the y-axis.

By virtue of the frequency bandwidth B of a transmission channel between a lower limit frequency f_1 and an upper limit frequency f_2 , in the view shown in Figure 1 there is a cuboid EB whose extent along the frequency axis is equal to the bandwidth B of the transmission channel.

The cuboid EB characterizes the limited energy budget of the transmitter, which is available to the transmitter on a channel of the bandwidth B in the period of time T_{FRAME} .

In this connection the relationship between bandwidth and symbol duration is also fundamental. It is known that the maximum bandwidth is fully utilized by short symbols. Specifically, for example for rectangular spectra, the bandwidth is fully filled by si-functions. That follows from the relationship between si-functions and rectangular functions by way of the Fourier transform:

$$si\left(\pi \cdot \frac{t}{T}\right) \circ - \bullet T \cdot rect\left(\frac{\omega}{2\pi/T}\right) \text{ Fourier - transformed} \quad (3)$$

with $si(x) = \sin(x)/x$ and $rect(x) = \begin{cases} 1 & \text{for } |x| \leq 1/2 \\ 0 & \text{for } |x| > 1/2 \end{cases}$

Accordingly in the baseband there is the following simple relationship between pulse duration and limit frequency:

$$f_g = \frac{1}{2 \cdot T} \quad (4)$$

wherein the pulse duration T denotes the minimum distance between two symbols which is possible without intersymbol interference phenomena.

As a general rule a carrier frequency is additionally used for the transmission so that the transmitted bandwidth B corresponds to double the magnitude of a limit frequency f_g in the baseband ($B=2f_g$).

The cuboid portions 13 through 16 shown in Figure 1 symbolize the components of the energy budget which are used for the transmission of the respective symbol by the transmitter, during the frame duration T_{FRAME} . It will be seen that the symbol duration of the second symbol 14 is less than that of the first symbol 13. In a corresponding fashion the transmission energy of the second symbol 14 is less than that of the first symbol 13.

The following findings can be derived from the model in Figure 1:

a) the channel resources available to a network operator are for example bandwidth, maximum transmission power and time. The cuboid EB in Figure 1 corresponds to the energy budget available to the operator of the transmitter on all frequencies which are used thereby of a channel, during a frame. That however does not signify that the frame duration T_{FRAME} is fixed. It can also be varied by the energy budget management.

b) economical operation of a transmitter requires full utilization of the available energy budget. The maximum transmission power and the available bandwidth should always be used over the entire time period of transmission operation in order to make optimum use of the available resources.

c) flexible adaptation to variable transmission conditions between a transmitter and the active receivers associated therewith is achieved by management of the energy budget available to the transmitter in a period of time. The essential physical parameter for successful information transmission from the transmitter to a respective receiver is not the transmission power but a sufficiently high amount of the bit-related reception energy. An essential feature of the methods according to the invention is therefore bit duration management with a predetermined transmission power in the form of receiver-specific adaptation of the bit-related transmission energy by way of a variation in the bit-related duration of a symbol. Those findings are discussed in greater detail hereinafter.

Regarding a) Channel capacity and energy budget

An available transmission channel can be optimally used theoretically according to Shannon by the amount of data:

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad [\text{bit} / \text{s}] \quad (5)$$

5 specified in bits per second, being transmitted in error-free fashion per unit of time. In that respect B denotes the bandwidth of the channel and S/N denotes the ratio between signal power at the receiver end and noise power. The noise power is the total of the thermal noise at the receiver end and interference phenomena which
10 occur due to human or industrial influences (human made noise, industrial noise). The parameter C is identified as the channel capacity.

Fundamental properties for economical channel management can be read off at the above-specified Shannon formula (5).

15 The capacity of a transmission channel between a transmitter and a receiver essentially depends on the ratio of the received signal power S to the prevailing noise power N in the receiver, referred to for brevity as S/N. Evidently therefore channel capacity is not a fixed value which is constant for a cell or a local network but a dynamic
20 value which can be subjected to considerable variations depending on the respective quality of the transmission channel from one receiver to another, and in the course of time.

Regarding b) Utilization of the channel capacity

25 The channel capacity according to Shannon as set forth by equation (5) is always limited by virtue of predetermined restrictions in the transmission channel. In other words: the channel capacity at a given moment in time is a limited resource and is the actual economic good which a network operator acquires by setting up a communication network, whether it is a wired communication
30 network or a wireless communication network. The capital investment necessary for that purpose require optimum utilization of the channel capacity afforded in order to be able to operate economically therewith.

Full utilization of the available capacity of a transmission channel is possible only when the predetermined transmission power, preferably the maximum admissible transmission power, is radiated on the channel.

5 Regarding c) Energy budget management

The foregoing formula from Shannon specifies the maximum data rate which can be error-free transmitted. In practice transmission errors occur. In that connection the bit error rate (BER) is a fundamental parameter in telecommunications. Transmission errors have to be corrected by suitable measures. That is effected for example by incorporating redundancy at the transmitter end into the data stream to be transmitted. Errors can be recognized in that way. The bit error rate crucially depends on the selected modulation. In general terms, with all modulation modes, it is possible to derive a relationship between bit error rate and the ratio of the transmitted symbol energy E_s in relation to the noise power density N_0 .

15 It is therefore essential that, for the successful transmission of information, the transmitter affords the receiver per symbol or bit a minimum energy related to the noise power density, for recognition of the symbol. The required minimum energy is dependent on the currently prevailing noise power density and the BER which is associated with receiver and which is provided for same for example on the basis of a contractually agreed transmission quality.

20 Furthermore the required minimum energy is dependent on the distance between the transmitter and the receiver.

25 In order clearly to illustrate the consequences drawn in accordance with the invention from the model shown in Figure 1, three cases by way of example are described hereinafter.

a) Low attenuation

30 Firstly a favorable case will be considered, in which attenuation between the transmitter and receiver is relatively low. In that case a very great channel capacity is available to the corresponding user. The shortest possible symbols which can be implemented in relation

to the bandwidth present are always sent, so that the transmission energy per symbol assumes the minimum value, with at the same time the maximum transmission power. Optionally, higher-stage modulation corresponding to the reception quality is additionally applied so that the energy available at the receiver is put to maximum use.

For that case the optimum symbol energy is determined for example by BER being considered for various modulation modes and by that modulation mode with which the required transmission quality is just still guaranteed being selected. At the same time that provides for selection of that higher-stage modulation with which the data can be transmitted as quickly as possible so that the channel capacity involved is put to optimum use. In that case the symbol duration is no longer altered as it is already reduced to the minimum value which corresponds to the reciprocal of the bandwidth.

The provision of that high channel capacity means that the amount of data required can be transmitted very quickly so that subsequently the physical channel is available to one or more users by virtue of employing suitable multiplexing methods. For example a TDMA method is advantageous in that connection so that the management complication and expenditure involved is kept within limits.

b) High attenuation

Another case which is referred to here as the worst case scenario involves a user whose physical transmission channel has a very high degree of attenuation, either due to a great distance or due to fading holes which occur due to multipath propagation phenomena. In that case the channel capacity available for the receiver is very small and the transmitted symbol energy must be very great, that is to say very long symbols are emitted.

For that situation the optimum symbol energy is determined by consideration being given only to the simplest available modulation. For that modulation, the minimum energy to be received, with which

for example the required BER is maintained, is fixedly preset so that the symbol duration must be altered dynamically in the transmitter in order always to produce the subscriber-related symbol energy at the receiver.

5 In this situation the symbols are markedly longer than the shortest symbol duration which is predetermined by the bandwidth. Optimum use of the channel capacity is therefore to be considered once again in more specific terms as there the bandwidth of the channel is also involved, besides the $S/N [W/W]$.

10 If the bandwidth of the symbol used is less than the predetermined bandwidth, the maximum channel capacity cannot be used and further additional measures must be taken. Such measures are now discussed:

15 Long symbols do not necessarily signify small bandwidth, that is shown by chirp signals, as is shown in DE 199 37 706. In that case the long symbols can be replaced by chirp signals which are of the same duration. In that case the product of time duration and transmission power is identical for both pulse forms, that is to say the energy is the same. The chirp signals however cause frequency modulation (which in the simplest situation extends linearly but in
20 general can assume any, monotonically rising function configurations) which can extend over the entire predetermined bandwidth. In that way the signals are spread in respect of frequency. That situation is considered in greater detail hereinafter.

25 It is also possible for the symbols to be spread in respect of frequency by being additionally modulated with a pseudo-noise sequence. It will be appreciated that that modulation must be known to the receiver and must also be dynamically adapted to the selected symbol duration.

30 A specific variant of energy budget management can provide for predetermining a long pseudo-noise sequence, for example a m-sequence, the chip duration of which reflects the given bandwidth. With a maximum bandwidth the various symbol durations can then

be implemented in discrete steps (integral multiples of the chips), by always using a portion of the predetermined sequence.

The energy contained in the spread symbol can be put to optimum use only when suitable correlation receivers are used, for example if there is a suitable matched filter in the receiver which must be dynamically adapted.

Alternatively, with the long symbols, it is also possible to superimpose an FDMA so that the bandwidth involved is divided and the user involved is allocated only a small part of the bandwidth, which corresponds to the length of respective data symbol. Two or more FDMA channels could then be operated in parallel.

A specific embodiment can provide for the implementation of an uplink and a downlink channel in the form of frequency division duplex (FDD) which are operated in parallel in respect of time.

In that respect the dynamics of the transmitter which have already been discussed hereinbefore are of crucial significance. In the specified FDMA, it would now be possible for example for two channels to be operated in parallel, in which case one corresponds to the first case with higher received energy and the second corresponds to the worst case scenario considered. The optimum symbols therefore differ considerably in the two channels.

c) Disturbed channels

As a concluding example, consideration is given to channels which suffer from very severe multipath propagation and/or additional interference signals. In that case the quality of the received signal is crucially dependent on the selected spreading of the signal. Energy budget management directly involves that parameter as the maximum bandwidth can always be used so that spreading and at the same time symbol energy increase with an increasing time duration for the pulses.

It is not crucial in terms of optimum use of the channel resource that the worst case is also maintained, but that in the best case the maximum possible data rate is transmitted and thus the properties of the channel can

be optimally used. It is accordingly possible for the channel capacity of the network to be markedly increased, as will be discussed in greater detail hereinafter.

The foregoing examples show as follows: energy budget
5 management preferably entails multi-dimensional optimization of all physical parameters which define the channel resources, the time axis, the frequency axis and the maximum transmission power.

A typical telemetric communications use and the implementation thereof in accordance with the state of the art is described in rather more
10 detail hereinafter with reference to Figure 2 in order to illustrate the physical boundary conditions in the transmission channel and to discuss the consequences according to the invention.

In wireless transmission methods, the situation arises where the received energy per symbol for free-space propagation decreases
15 approximately quadratically with distance. As a simplifying assumption it is presupposed in this example that only one modulation mode is used and no higher-stage modulation processes are employed. It is further assumed that the symbols are always radiated with the same duration T_{ref} and the same transmission power P_{send} for each subscriber.

Figure 2 now shows a diagram in which the reception energy $E_{receive}$ is plotted as a function of the distance r between a transmitter and receiver of a wireless transmission network. The distance r is plotted on the abscissa and the reception energy $E_{receive}$ is plotted on the ordinate. The functional dependency between reception energy and distance r between transmitter
20 and receiver is as follows:

$$E_{receive} \sim \frac{1}{r^2} \quad (6)$$

That relationship is reproduced in the Figure 2 diagram by a curve
20.

A noise power density is shown parallel to the abscissa in the form of
30 a broken line 22. Also shown parallel to the abscissa is a solid line 24 which identifies the magnitude of the minimum symbol energy E_{min} which is required for achieving a receiver-specific bit error rate BER and which is predetermined by the modulation mode used. The constant symbol

duration T_{ref} is shown as the width of a bar 26 in parallel relationship with a second horizontal axis 27, a time axis.

In this simple model system in accordance with the state of the art there is precisely one distance r_{ref} between transmitter and receiver, at
5 which the reception energy E_{rec} precisely corresponds to the minimum value E_{min} required for recognition. A bar 29 shows the minimum reception energy E_{min} which, with the distance r_{ref} between transmitter and receiver, within the cell, still leads to correct reception.

If now the network is dimensioned on the basis of that worst case
10 scenario, that is to say in relation to the transmission power and the link budget, a maximum symbol duration is determined, which when multiplied by the maximum transmission power gives the maximum transmission energy, then with all nearer users the received energy and thus the symbol duration are too great. Receivers which are arranged at a shorter distance
15 in relation to the transmitter than r_{ref} receive more energy than is required. Receivers which are at a greater distance in relation to the transmitter than r_{ref} receive a level of energy which is not sufficient for recognition of symbols with the predetermined BER.

From the point of view of the transmitter, for $r < r_{ref}$, the reception
20 energy region 28 between the straight line 24 (E_{min}) and the distance-dependent curve 20 is excess wasted energy. For, that energy is not required at the receiver for recognition with the predetermined BER. On the other hand, in the distance range $r > r_{ref}$, the reception energy region 30 between the straight line E_{min} and the distance-dependent curve 20 is a lack
25 of energy for recognition at the receiver end with the predetermined BER, with the given noise power density.

Now, for the closer receivers, the transmission power could be adjusted down by a power management method in accordance with the state of the art. However that means that the channel resource
30 transmission power is not fully used.

In an embodiment of energy budget management (EBM) the symbol duration at maximum transmission power is varied and thus the energy of the transmitted symbol is adapted to the requirements of the channel

without reducing the transmission power. The energy budget is thus divided up insofar as respective subscriber-specific symbol durations and thus energy packets are sent to each subscriber at full transmission power. In that way, for each user, the optimum symbol duration is calculated in dependence on the received power in such a way that only that symbol energy is applied in the transmitter, which is required for reception at an error recognition rate predetermined for the receiver. That is characterized in Figure 2 by E_{min} . The transmitter uses the transmission energy saved in that way in accordance with energy budget management for example in the context of a TDMA method for adaptation of the symbol energy for those receivers which have at the current time worse reception conditions, or for the operation of further transmissions to receivers in the close area. In that way the range of the transmitter can be increased by management of the energy budget.

That therefore makes better use at one end of resources which are additionally available at the other end in order to serve subscribers who, in the case of methods in accordance with the state of the art, would be just outside the cell and could no longer be reached by the base station.

The variation in symbol duration is limited downwardly. The shortest symbol duration corresponds to the maximum bandwidth which as an additional parameter restricts the transmission channel.

Figure 3 shows the consequences of the method according to the invention in a bar chart plotting the transmission and reception powers in relation to a time axis for various examples. The respective reception energy is illustrated in the foreground, for example by the front face 42, which faces towards the viewing person, of a cuboid 44, with a reception power which is determined by its height along the y-axis and a symbol duration which is determined by its width along the x-axis. The transmission energy corresponding to the respective bar of the reception power is illustrated in the background, for example in the form of the front face 46 of a hatched bar 48. The mutually associated transmission power and reception power bars naturally involve the same symbol duration, illustrated as an equal extent along the time axis. The bars however differ

in terms of heightwise extent: the reception power is always less than the associated transmission power.

The different bars shown in juxtaposed relationship along the time axis correspond for example to different receivers with a distance, which increases in the direction of the time axis, from the transmitter, or receivers with a different allocated data rate. An attenuation effect which is common to all illustrated examples and which is solely distance-dependent is assumed to apply. The same BER is to be made available to all receivers, as a further boundary condition. To permit that the reception energy must always reach the value E_{\min} . All cuboids which are arranged in the foreground and which represent the reception power as a function of time accordingly have the same area content of the front faces in Figure 3. For this, receivers which receive the symbol with a lower level of power, which therefore are at a greater distance from the transmitter, have communicated thereto the symbols with a correspondingly longer symbol duration.

The third co-ordinate, the depth of the bars, represents in this case the bandwidth used, which is predetermined for the channel as an additional parameter. That is shown as being constant here as, even with a variable time duration in respect of the symbols, a suitable spreading effect can always be found so that this provides that the full bandwidth is used.

In a method according to the invention, as shown in Figure 3, the transmitted data symbols are dynamically adapted in respect of energy insofar as their time duration is adapted. In that respect the transmitter is operated here in such a way that it always radiates on a respective channel the admissible maximum of the transmission power, as is shown by the transmission power which is the same for all examples in Figure 3. The symbols are dynamically adapted in their bit-related duration in order to afford a reception quality which remains the same, that is to say the same reception energy E_{\min} , to a receiver in question, in dependence on the currently prevailing condition of the transmission channel.

In that respect, in accordance with the invention, with the same symbol duration, it is additionally possible to select a higher or a lower

modulation stage so that a higher or a lower number of bits is transmitted with a symbol. The minimum energy shown is dependent in that respect on the respective modulation mode.

5 An embodiment for the above-described energy budget management will now be described in greater detail with further reference to Figures 1 through 3, with the central aspects being set out once again for that purpose.

10 In wireless transmission methods, the situation arises where the received energy, per symbol, for free-space propagation, decreases approximately quadratically with distance. The minimum energy which is necessary for reliable reception of the symbols in contrast depends only on the modulation selected and is therefore constant. Accordingly, with a predetermined maximum transmission power, the maximum cell radius is determined by the distance r_{ref} in Figure 2.

15 If the network is dimensioned on the basis of that worst case scenario, that is to say a maximum symbol duration which multiplied by the maximum transmission power affords the maximum transmission energy is determined in relation to the transmission power and the link budget, then the received energy and therewith the symbol duration are too great in the case of all closer users.

20 In that case, when using power management, the transmission power could be adjusted down so that the transmitter assumes a condition of being adapted to the situation. This means however that the channel resource transmission power is not fully used. In that case energy budget management can advantageously be applied by the symbol duration being reduced. That implements a markedly higher data rate and the channel occupation duration is reduced. That makes it possible for example to carry out a TDMA method.

25 The optimum symbol duration is calculated for each user. In a preferred embodiment the symbol duration T_{symbol} is determined at the transmitter end in accordance with formula (1).

That dynamic control of symbol duration in dependence on the reception quality is in principle possible in any system.

What is crucial however is the question relating to optimum use of bandwidth as in general the bandwidth of the symbol is simultaneously altered with the dynamic symbol duration. On the one hand the respective bandwidth can be regulated dynamically by implementing an FDMA
5 procedure in which the bandwidth is dynamically divided up according to the requirements involved. That implementation of such a method in hardware terms is very complicated and expensive. In contrast such dynamic separation can be implemented in a software radio.

Furthermore it is possible, in relation to the bandwidth, to define the
10 shortest symbol (chip) and to form the data symbols by arranging a plurality of those chips in succession insofar as certain sequences represent the symbols. Energy budget management is then combined with frequency spreading. That case involves quantization of the dynamic variation in the symbol duration by the chips used.

15 In particular however chirp signals are suitable for that use, in respect of which a distinction can be drawn between frequency spreading and time spreading, see DE 199 37 706. In that case frequency spreading is effected by a procedure whereby the pulses which are shortest in relation to the bandwidth are produced and then those pulses are expanded in time
20 spreading to any duration. That expansion of the pulses can then be effected dynamically according to the energy required.

High data rates are achieved with that method insofar as the individual chirp signals are in mutually superposed relationship in time. The maximum transmission power which a user can use is therefore divided
25 up so that each chirp signal gets only a fraction, depending on the respective degree of the superimposition effects.

That is possible as the symbols are compressed in the receiver to short pulses, the maximum of which is in the zero positions of the other pulses. Those si-shaped pulses naturally reflect the bandwidth used.

30 In this case also there can be a quantized increase in symbol energy insofar as fewer and fewer symbols are mutually superposed and thus the power of the individual symbols is increased stepwise until there is no longer any overlapping of the symbols. The consequence of this is that the

compressed pulses are at a progressively increasing distance relative to each other and more zero positions remain empty.

Dynamic allocation of the symbol duration is restricted downwardly by the bandwidth. That predetermines the shortest pulse which can be
5 used in modulation. There is however no limitation on the other side, that is to say the symbols can also be extremely long.

That will be described with reference once again to Figure 2. The cell sizes which are usual nowadays are described by the point r_{ref} at which the signals can just still be received. No further reception is possible in the
10 conventional systems, beyond that point. Therefore, a user who is only slightly outside the cell has to set up a fresh cell. That can give rise to very high costs specifically in the case of wireless local loop (WLL) arrangements.

The energy budget management by means of energy modulation
15 described herein makes it possible for even that user still to be serviced from the same base station by the symbols becoming even longer and thus bearing more energy. That therefore provides for dynamic expansion of the cell in individual directions at which users are to be found. That is a particularity which is not encountered in other channel management
20 methods.

The production of long symbols in a transmitter often does not cause any difficulties. In contrast in the receiver major problems can be involved in receiving long symbols with a small bandwidth, particularly if FDMA is used and the frequency must be accurately hit. In general it is more
25 appropriate here to spread the symbols and to use a correlation receiver. That applies equally for CDMA sequences and also for chirp signals.

Those receiver types also basically correspond to the conventional matched filter which is used for optimum transmission.

Dynamic energy modulation and thus symbol duration variation
30 mean that this filter also has to be dynamically adjusted. That is also possible in an implementation in the form of software radio.

The distinction between base stations and subscribers is also essential for application of energy modulation. Bandwidth and power are

generally restricted for the telecommunications channel. It is therefore possible for the subscriber to emit the data symbols at full power and, with corresponding frequency modulation, to produce the optimum symbol length. The frequency band necessary for that purpose must be previously
5 enabled by the base station so that the users do not interfere with each other.

In the converse case that is not so easily possible as splitting up the channel into individual frequency bands at the same time also means dividing up the maximum transmission power as the total of all
10 transmission powers over frequency is not to exceed the maximum admissible power. In consideration of the known clear links between transmission power, symbol duration and bandwidth it is possible to dynamically calculate the optimum energy modulation in each network and thus to embody a maximum channel capacity in a network.

15 The operation of determining the setting values is described hereinafter. As discussed in greater detail hereinbefore, energy budget management is based on transmission energy being adapted in receiver-specific fashion, for example in relation to a base station or an access point. Accordingly, for example with good transmission conditions, higher-stage
20 modulation is effected while with poor transmission conditions an increase in symbol duration is produced.

So that this method can be controlled automatically the necessary regulating values must be ascertained and efficient modulation must be agreed between transmitter and receiver. There are in principle various
25 ways of doing that. All power management methods which are usual nowadays can be adopted for energy budget management as therein the power at the receiver is ascertained and thus the received energy is known for the corresponding symbol and extrapolation is possible therefrom for all other available symbols. Two principles are set forth here by way of
30 example.

The received power can be measured directly by simple RSSI measurement (radio signal strength indicator) in the receiver. In that way the reception quality is known and it is possible to tune optimum

modulation and/or symbol duration and/or spreading between base station and subscriber. In that respect in general the values of base station and subscriber are different as different interference phenomena can occur at the various locations.

5 Secondly the quality of transmission can also be determined by measurement of the errors within a frame, if for example an error recognition code is used. Modulation and/or symbol duration and/or spreading can then be altered stepwise until the optimum transmission efficiency is reached.

10 Regulation can be continuously re-adjusted in an existing connection or an ongoing data traffic, without the transmission breaking down.

 It is in contrast more difficult to make a connection in a cellular network. Here a subscriber sends a request to the base station in the access channel. That may possibly not be received by the base station as
15 the modulation employed is not known.

 Here too there are various solutions. Firstly, it is always possible to use the physically most robust connection which must always function in a correctly dimensioned network. This however involves squandering resources.

20 A further possible option is to set up a plurality of receivers in the base station so that various modulation modes are allowed in the access channel and the respective subscriber starts the transmission with the modulation last used. In parallel reception there is then always one which is tuned to the transmitted modulation.

25 In general repeated inquiry of the access channel is also possible, in which case the conceivable modulation modes and/or symbol durations and/or spreads are systematically checked. Efficient algorithms can be envisaged here, as are nowadays already used in systems which employ various carrier frequencies for data communication.

30 The same problems arise in the case of CDMA systems in which a specific spread code must be dynamically allocated to each user before the actual connection (traffic channel) is ready.

Likewise it is possible in energy budget management to determine the optimum symbols which are to be used for the transmission before they are employed in the actual traffic channel.

In that respect it is also possible for the transmitted symbols to differ
5 from the received symbols as the losses and interference in the channel between uplink and downlink can be different.

Figure 4a) is a diagrammatic view showing a wireless local loop network 50 with a base station BS. Subscriber stations are identified as SU1 through SU5 and Sun (English SU = Subscriber Unit). In addition
10 propagation obstacles for radiation of the transmitter are identified by references 52 through 58. The obstacles 52 through 56 are for example high buildings, while the obstacle 58 is a mountain range such as for example the Alps.

In comparison with the preceding examples the transmission energy
15 here is no longer dependent exclusively on distance but on further factors. In the general situation the required transmission energy is determined by the following important parameters. Further, less important parameters which however are known to the man skilled in the art are not set out in the following list:

- 20 > modulation mode
- > distance between transmitter and receiver
- > interference and noise
- > required BER (for example for special security uses)
- > multipath propagation (line-of-sight, non-line-of-sight)
- 25 > antenna characteristic

The cell size is predetermined in accordance with known methods by the maximum (admissible) transmission power of the base station (BS). It is symbolically indicated in Figure 4 by a circular line 60. Within that cell, the individual subscribers are sometimes closer to the base station (thus
30 SU5) and sometimes further away from the base station BS (thus SU4), while in addition signal distortion occurs due to multipath propagation as well as shadowing of the signal due to large buildings 52 through 58. The mountain range 58 represents an insuperable obstacle so that the

subscriber SU3 which is out of sight of the base station BS beyond the mountain range cannot be reached.

By virtue of the multiplicity of transmission channels present, individual subscribers can be reached well, others poorly and some not at all. Figure 4b) in the form of a bar chart shows the transmission powers which are required with correspondingly previously known methods with a constant symbol duration and which are required for transmission to the respective SU. The numbering of the bars corresponds to that of the subscribers. By way of example bar 1 symbolically represents the transmission power associated with the subscriber SU1. The two subscribers SU1 and SU2 are outside the range of the base station BS and can only be reached with levels of power which are higher than the admissible peak power P_{send} .

Figure 4c) in contrast shows for comparison purposes the solution achieved with bit duration management. Reception with the same reception energy at the subscribers involves using a respective suitably adapted transmission energy which is set by adaptation of the symbol duration with the maximum transmission power P_{send} in each case. The channel capacity present is distinguished within the network for each subscriber, on the basis of the different channel properties. That fundamental physical property constitutes an essential difference in relation to network organization methods which are usual nowadays and which seek to allocate the same channel capacity (or data rate) to all subscribers of a cell.

The task of telecommunications could now be stated in fresh terms insofar as the optimum data rate at the respectively admissible error rate can be dynamically offered to each subscriber within a network. The symbol energy necessary for that purpose is thus the determining regulating value of the network. It follows from that approach that the transmitted symbols may not be fixed, they must be dynamically altered at the transmitter, so that, for the selected modulation, in dependence on the transmission channel, the subscriber in question always receives the

required reception quality, described for example by an error recognition rate or specifically a bit error rate.

The physical principles involved however permit that in a dynamic channel only when the transmitted data symbols are dynamically adapted
5 in respect of energy, that is to say optimum energy modulation or optimum bit duration management is effected, or in regard to a network organization: energy budget management.

Reference will now be made to Figure 5 to consider a general embodiment which is typical of wireless connections. A number N_{channel} of
10 subscribers is served simultaneously from a base station, wherein one of the typical multiple access methods can be employed. The following calculations are based on a predetermined cell which is so dimensioned that the most remote user at a distance r_{ref} [m] from the transmitter, with a predetermined symbol duration T_{ref} [s] and the maximum transmission
15 power P_{send} [W], still just receives the energy E_{min} [Ws] which is necessary for reliable reception of the data.

It is further assumed that, in the general case, the data are transmitted with a spread. That situation therefore means that the bandwidth B [Hz] used is greater than the reciprocal of the symbol duration
20 T_{ref} [s].

It is additionally assumed that the selected modulation mode is the same for all subscribers in the reference cell, antennae with an isotropic directional characteristic are used and propagation of the electromagnetic waves takes place in free space. All those assumptions are in no way
25 necessary prerequisites for energy budget management. They only serve to be able to implement the calculations described herein, with simple formulae.

The reference cell being considered is served from a base station which provides a fixedly predetermined number of channels, for example in
30 a TDMA or CSMA multiple access method. Each of those channels has a data rate R_{ref} [bits/s] which is intended to precisely correspond to the data rate required by the subscriber.

Insofar as reference is made in the description hereinafter to formulae which are not stated herein, they are to be found at the respectively specified number in Appendix 2.

5 The limiting physical values in the cell under consideration are the bandwidth and the maximum transmission power. It is now of fundamental significance that, for the assumed free-space propagation, the received power for each subscriber in the cell depends quadratically on the distance thereof relative to the base station.

10 The received power is the decisive setting value in this example, it is uniquely determined by the position of the respective user. For reception of a transmitted item of information however it is not the power that is decisive but the reception energy per bit E_{receive} which is calculated from the product of received power and symbol duration. In an optimum system therefore that value should be kept constant so that the required error rate
15 is observed.

$$E_{\text{receive}} = P_{\text{receive}} \cdot T_{\text{symbol}} / P_{\text{receive}}(r) \sim \frac{1}{r^2} \Rightarrow T_{\text{symbol}} \sim r^2 \quad (7)$$

Let the reference system in question be a rigid system, with a fixed symbol duration T_{ref} [s], the dimensioning of which is designed to ensure the reception of the information at a maximum distance r_{ref} [m], whereby
20 the minimum energy per symbol E_{min} which is necessary for reception is predetermined. In that respect it is firstly assumed that in the reference system each symbol only contains one bit as information content.

$$E_{\text{min}} = P_{\text{receive}}(r_{\text{ref}}) \cdot T_{\text{ref}} \quad (8)$$

In many transmission methods which are usual nowadays the energy
25 of the received symbols is kept constant by the transmitted power being reduced. In that way the channel resource available is thoughtlessly squandered. It is now to be shown here how easily the resources can be used by applying energy budget management.

The following calculations are based on a comparison of the systems,
30 that is to say the relationships of the rigid reference system to the flexible system with energy budget management are decisive here.

Now, reliable reception of the messages with the selected modulation mode requires the energy E_{\min} [Ws] which is related by way of the channel losses to the transmitted energy.

In a first approximation that decreases quadratically with the distance r [m], but it is always limited upwardly (that is to say at small distance), for physical reasons. Formulated in general terms, the following applies for the radiation of power, under the stated conditions:

$$P_{\text{receive}}(r) = \frac{P_{\text{send}}}{1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r}{\lambda}\right)^2} \quad (9)$$

For the reference cell, that value can be easily related to the minimum energy E_{\min} [Ws], by being multiplied by the symbol duration (19). As now the duration of the transmitted symbol does not change on the air interface, the received energy per symbol can generally be viewed as a function of the transmitted energy (20).

In classical methods the base station of the reference cell now sends the signals to all subscribers with the same energy, whereby, as already explained at a number of points above, available resources are in part squandered insofar as users close to the base station are sent too much power or energy.

A plurality of users are served in "quasi parallel" relationship on the basis of the multiple access method. The number of active users in the reference cell corresponds in that respect to the number of channels N_{channel} of the access method.

The energy radiated per symbol, E_{send} [Ws], is defined as the product of maximum transmission power P_{send} [W] and symbol duration T_{ref} [s] of the reference system.

In total, in consideration of statutory provisions, the base station is permitted to radiate the energy:

$$E_{\text{BS_classical}} = N_{\text{channel}} \cdot E_{\text{send}} \quad (10)$$

That energy budget is accordingly available for the cell. It is precisely at that point that energy budget management comes in. Each

subscriber is only sent the transmission energy which is necessary for the subscriber to receive the signals with an energy E_{min} [Ws].

For general derivation, the number of active users in the area being considered when using energy budget management is decisive, which can generally be described by way of user density in relation to area.

Hereinafter that density is assumed to be constant (21) and is standardized in relation to the reference cell being considered. As that density is constant, the value does not alter in relation to area so that in the formulae r and ϕ are only formally used as variables which describe the position.

Application of energy budget management means that the resources are now optimally used insofar as each user receives the minimum energy per symbol, irrespective of his position. As the received energy is constant accordingly the transmitted energy must be altered by the energy budget management system in dependence on distance (22).

The energy radiated overall by the base station as a statistical mean is now an integral over the area-related density of the active users (23), multiplied in each case by the respective transmitted energy.

Integration over a circular area A of a radius r_{cell} [m] affords the simple formulation (24) which hereinafter is to be compared to the value already set forth in respect of the classical cell.

For that purpose consideration is firstly given to the situation where both cells are to be of the same size, that is to say $r_{cell}=r_{ref}$, that situation is identified by 64 in Figure 5, and the energy radiated by the base station is to be the same for both cases.

Under those conditions, equating (10) and (24), having regard to the formula (19) for the minimum energy, there is a direct relationship between the number of active channels in both cases.

$$N_{channel} = \frac{1}{2} \frac{2 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{ref}}{\lambda} \right)^2}{1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{ref}}{\lambda} \right)^2} \cdot N_{channel_EBM} \quad (11)$$

For all cases which are relevant in practice, that formula can further be made substantially simpler by the approximation (25). That gives the simple relationship that, by virtue of application of energy budget

management, the number of channels $N_{channel_EBM}$ is doubled in comparison with the conventional number $N_{channel}$ with the same cell size and the same data rate per channel ($R_{EBM}=R_{ref}$).

$$N_{channel_EBM} = 2 \cdot N_{channel} \quad (12)$$

5 That is shown in Figure 5 in relation to the cell 64.

Alternatively it is also possible with the same number of channels $N_{channel_EBM}=N_{channel}$ for the data rate per subscriber to be doubled, $R_{EBM}=2 R_{ref}$. Accordingly the introduction of energy budget management leads to a 100% increase in the efficiency of the predetermined cell. That is
10 illustrated in Figure 5 by reference to a cell 62.

As a further numerical example, reference will now be made to a cell 66 to consider the case where the density in relation to area of the active users is to be the same for both cases (26).

On the basis of the result which has already been deduced it is
15 therefore immediately clear that less energy is emitted by the base station for the cell being considered, when using EBM. That energy difference can be used to expand the cell to $r_{EBM} > r_{ref}$, in (27) for that purpose r_{cell} is replaced by r_{EBM} , that is illustrated in Figure 5 by reference to a cell 66. Resolution of the formula (27) leads to a complicated formulation which as
20 a quotient contains only the ratio of the expanded cell to the reference cell (28), which applies for maximum expansion of the cell when using energy budget management with the same service quality for all subscribers. That formula can be again substantially simplified by having regard to the relationship (25). That gives the following:

$$25 \quad \frac{r_{EBM}}{r_{ref}} = \sqrt[4]{2} \approx 1.2 \quad (13)$$

The cell 66 is thus expanded in the radius r_{EBM} by 20% with the same service quality (data rate) in respect of all active subscribers, $R_{EBM} = R_{ref}$. That initially appears to be little, but in that way the number of all channels is increased from $N_{channel}$ to

$$30 \quad N_{channel_EBM} = N_{channel} \cdot \left(\frac{r_{EBM}}{r_{ref}} \right)^2 = N_{channel} \cdot \sqrt{2} \approx 1.41 \cdot N_{channel} \quad (14)$$

The number of channels $N_{\text{channel_EBM}}$ in the cell 66 can thus be increased by 41%. That advantage is graphically shown in Figure 5.

The foregoing derivation is now to be considered in greater detail once again, in regard to technical implementation of the EBM. Evidently a subscriber who is in the proximity of the base station generally has available a channel which involves lower channel losses in relation to the subscriber who is further away. The foregoing derivation now shows that accordingly less energy has to be radiated by the base station for reliable reception of a selected symbol.

The question is now how that can be technically implemented. In that respect there are in principle two ways, variation in the symbol duration and variation in modulation.

The following derivation shows that both methods are equivalent but are subject to different restrictions so that finally it can be emphasized that the described energy budget management can in principle be optimally implemented by a dynamic variation in symbol duration and/or by higher-stage modulation.

A preferred variant involves the proposal of a combination of both methods, in which an elegant variation in symbol duration is effected until that cannot be pursued due to the restricted bandwidth, and then higher-stage modulation is applied.

At any event the above-derived formulation (24) represents the limit of the improvements which can be achieved in respect of energy budget management.

Firstly the EBM permits dynamic adaptation of the symbol duration. The transmitted energy per symbol is the product of the transmitted power P_{send} [Ws] multiplied by the respective symbol duration T_{symbol} [s]. It has already been sufficiently explained that a variation in the transmission power to a value less than the maximum allowed value signifies squandering of channel resources. That value is therefore constant.

So that the transmitted energies differ for the individual subscribers the symbol duration can be varied. Accordingly the following applies to the above-discussed case:

$$E_{send_EBM}(r) = \left[1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \right)^2 \right] \cdot E_{min} \Leftrightarrow T_{symbol_EBM}(r) = \frac{1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \right)^2}{1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{ref}}{\lambda} \right)^2} \cdot T_{ref} \quad (15)$$

Therein E_{min} [Ws] denote the energy which is at least required at the receiver to reliably detect the symbols and T_{ref} [s] is the symbol duration in the previously considered reference cell with classical cell organization.

- 5 The dynamic change in symbol duration is evidently a very elegant way of dynamically varying the symbol energy in the transmitter.

In general terms the bandwidth which is at least required for the transmission of a symbol is equal to the reciprocal of the symbol duration. That first approach can therefore mean that the required bandwidth is not
10 available. Accordingly this approach can easily encounter limits which prevent optimum use of the energy budget management system.

Alternatively or in addition it is possible to effect a dynamic change in the higher-stage modulation. This second embodiment is rather more complicated and therefore has to be described in greater detail. The
15 formulations used hitherto involve the value E_{min} which for the general case identifies the energy which must arrive with a selected modulation in the receiver so that the receiver recognizes the information of a bit with an adequate degree of certainty. In the general case however a symbol can contain a plurality of bits.

20 The relationship between symbol energy and bit energy or information content of the symbol arises out of the modulation adopted. If the situation is such that the symbols have an excessive energy at the receiver, that energy could alternatively be used to alter the modulation mode and to use symbols which carry more information and therefore
25 require more energy.

As a simple example consideration will be given here to the situation where the reference cell involves the use of BPSK modulation in which each symbol corresponds to precisely one bit. The required reception energy is identified by E_{b_min} , wherein the index b is intended to refer to a bit.

30 In the transition from BPSK to QPSK for example the information content of the symbol now changes from 1 bit to 2 bits. At the same time

the necessary energy which is required for reliable reception of the symbols increases. In that case the following applies: $E_{min}=2 \cdot E_{b_min}$.

The energy budget management procedure therefore involves the situation where the energy present can be fully used by the receiver insofar
 5 as modulation is adapted to the factors involved and it is not the symbol duration that is varied but the information content within the symbols.

In principle it is always the case that the symbol energy can be converted into a corresponding energy per bit:

$$E_s = \log_2(M) \cdot E_b \quad (16)$$

10 wherein M describes the number of various "states" of the symbol and $\log_2(M)$ describes the number of bits per symbol, wherein all states have the same probability. In the general case a different probability can also be considered here.

In generalizing terms it is now assumed that a modulation mode is
 15 always used so that the symbols with a higher information content require the energy E_{b_min} on statistical average for each bit, as is required for the selected reference cell.

In this embodiment only the modulation of the symbols is varied. The energy radiated from the transmitter (or the base station) is in that
 20 case always the same for each subscriber:

$$E_{symbol_send} = P_{send} \cdot T_{ref} = E_{send} = constant \quad (17)$$

That seemingly corresponds to the reference case, but in the EBM system the information content of the symbols is altered. That manifests itself if the transmitted energy per bit is specified:

$$25 \quad E_{b_send_EBM} = \frac{E_{send}}{\log_2[M(r)]} \quad (18)$$

In accordance with the losses which occur, for a near subscriber that now involves a higher information content, that is to say a large M, while for a subscriber who is further away, that involves a smaller M. In contrast the received energy per bit is always to correspond to the minimum value
 30 (29) so that in relation to distance there is a function of the transmitted energy for the subscriber in question.

Equating the two expressions (18) and (29) leads on to a clear description of the modulation to be selected in the transmitter (31), in which respect it may be assumed that the number of discrete "states" of the symbol $M(r)$ can be sufficiently varied to provide a good approximation to the given continuous function.

Each subscriber now requires not a number of symbols but only of bits for the transmission of a predetermined amount of information. Accordingly the energy which an individual subscriber claims is dependent only on the number of bits and the energy of the individual bit so that this involves the integral (32) in total over subscribers with equal rights, for application of energy budget management.

That integral can be easily calculated with the above-specified formulae (33) and affords the expression (24) already previously contained in the general derivation.

Only the designation of the minimum energy has been altered here as here it was necessary to distinguish bit and symbol energy. In contrast (34) still applies for the classical situation. That corresponds exactly to the previously specified general derivation so that finally it can be emphasized that the described energy budget management system can in principle also be optimally implemented by higher-stage modulation.

Reference will now be made to Figures 6 and 7 to consider a time division multiple access method (TDMA) as a further embodiment.

Figures 6 and 7 each show the division of a given period of time T_{FRAME} into time portions 70 through 76 and 80 through 88 and 80' through 84' respectively, referred to as time slots. A conventional TDMA method involves separation of the subscribers on the time axis by a given time slot being allocated to each subscriber. Those time slots periodically occur at time intervals T_{FRAME} , after which each subscriber is allocated a time slot afresh. The portion 76 in Figure 6 characterizes a period of time with a number of further time slots of the duration T_{channel} .

Now, in a network, the channel conditions are different for the individual users so that the EBM method provides that various symbol

durations and various modulations must be applied in order to make optimum use of the resources available.

If in that case the number of transmitted bits per time slot is fixed and thus the subscriber is guaranteed an unchanged data rate, then the
5 duration of the time slots is altered dynamically according to the channel conditions. That can be seen in Figure 7 by reference to the differing width of the time slots 80 through 88 and 80', 82' and 84'. The organization of those time slots of differing lengths is relatively simple in TDMA.

In general terms the time duration of a packet is reduced in relation
10 to a reference cell since, as already explained at a number of places above, the classical system is designed for the worst case scenario and all closer stations receive an excessively great power, as Figure 2 shows. The efficiency of EBM is thus immediately apparent.

Execution of EBM can now be effected for example with a fixed
15 symbol duration and thus unaltered bandwidth by higher-stage modulation so that fewer symbols and thus a shorter time slot is required for the transmission of a defined piece of information. Mention may be made here by way of example of a QAM so that the information content of the symbols can be increased stepwise from QPSK to for example 256 QAM.

20 In the receiver, the necessary changes to the detector are relatively slight. Besides pure phase detection, an amplitude detector is additionally necessary with QAM.

To determine the optimum symbol for EBM, it is possible here to use simple regulation insofar as firstly the simplest modulation is applied in the
25 access channel and then a higher-stage modulation is applied stepwise, the symbols of which have a higher information content. That information content can then be increased until either the symbol with the greatest information content is used or the transmission quality (determined by the bit error rate) no longer satisfies the demands involved.

30 Alternatively it would be possible to measure the power of the received signal and, on the basis of that information, to immediately determine the most favorable symbol without going through stepwise regulation.

That optimization is to be effected individually for each subscriber. Then, on the basis of the channel-specific time slot lengths, fresh organization of the TDMA is necessary, in which the time marks for the beginning of the individual time slots are dynamically adapted to the changes in the network.

In that case so many time slots can be allotted until the predetermined time frame T_{FRAME} is optimally filled.

In addition the situation can occur where the energy of the symbols for individual subscribers is too low, due to interference effects or shadowing. In the classical TDMA method no connection is then possible.

In those situations there must additionally be an increase in the length of the symbol duration, for example by the duration being doubled stepwise using the simplest modulation until either the maximum symbol duration is reached or the transmission quality (determined by the bit error rate) satisfies the demands involved.

In that respect the receiver must possibly adjust its matched filter so that the symbol energy present is put to optimum use.

In a combination of the two regulating procedures, the quality of transmission for all subscribers of TDMA is markedly improved by introducing the EBM procedure.

Reference will now be made to Figure 8a to describe application of EBM to an MDMA method.

The production of long symbols in a transmitter often does not cause any difficulties. In contrast the receiver may suffer from major problems in receiving long symbols of small bandwidth, particularly if FDMA is used and the frequency must be accurately hit.

In general it is more favorable here to spread the symbols and to use a correlation receiver. That applies equally for all pseudo-noise sequences (maximum length sequences (m-sequences), gold codes and so forth), as also for all kinds of chirp signals.

Those receiver types also basically correspond to the classical matched filter which is used for optimum transmission.

In consideration of dynamic energy budget management and thus symbol duration variation that filter also has to be dynamically adapted. That is also possible in an implementation in the form of software radio.

In that respect the chirp signals assume a particular position. There
5 it is possible for the individual signals to be superimposed in respect of time so that the physical symbols are of a different time duration from the logical symbols.

In the receiver, those symbols are separated from each other again by the compression filter and shaped to provide short pulses which
10 maintain the spacing $n \cdot \delta[s]$ from each other.

In that case it is possible for the duration of the physical symbols $T_{\text{Chirp}} \gg \delta$ to be kept constant if the duration T_{symbol} and thus the data rate of the logical symbols is altered by energy budget management.

As due to the chirp signals the bandwidth $B[\text{Hz}]$ used always remains
15 the same, there is only a change in the contained spread gain which is calculated as $B \cdot n \cdot \delta = n$ if the time duration δ of the compressed chirp signals corresponds to the reciprocal of the bandwidth B .

The decisive advantage in that respect is that the same correlation filter or the same correlation process can always be used in the receiver.

20 That situation is shown in Figure 8a. There the minimum logical symbol duration is identified by $\delta[s]$. That value corresponds to the reciprocal of the bandwidth $B[\text{Hz}]$. Frequency spreading is therefore initially 1 and is increased stepwise to 2, 4, 8 and so forth, by the physical pulse duration δ being maintained and the repetition rate being reduced
25 stepwise.

In that case the energy contained in the physical symbols increases stepwise as the amplitude of the pulses rises.

Time spreading is effected before those signals are emitted so that the transmission signal is of an almost constant amplitude and thus
30 constant transmission power. That spreading action can be effected for example with dispersive group delay-time filters so that each narrow pulse is replaced by a chirp signal of predetermined duration and bandwidth.

A complementary process takes place in the receiver so that the chirp signals are compressed to narrow pulses again.

That form of time spreading has already been described in detail in patent specification DE 199 37 706 and can also be advantageously used in that form for application of the energy budget management procedure.

The amount of the transmission symbols in that specific case of MDMA is distinguished here in that n different symbols are available, $n \leq T_{\text{chirp}}/\delta$, the energy of the symbols are integral multiples of the shortest symbols, the spread factor is also increased simultaneously with energy and higher-stage modulation processes (for example PSK or QAM or ASK ...) are superimposed on the shortest symbol so that there is a number of symbols with a higher information content.

To determine the optimum symbol for EBM it is possible here to use simple regulation insofar as firstly the symbols which are longest and most robust by virtue of the great spreading effect, with the greatest energy, are used in the access channel and symbols with a higher data rate are tested stepwise until either the maximum data rate is reached or the transmission quality (for example determined by the bit error rate) no longer satisfies the demands involved.

In the situation where the shortest symbols are used, a higher-stage modulation process is then additionally used in order to allocate a higher information content to each symbol. That information content can be increased until either the symbol with the highest information is used or the transmission quality (determined for example by the bit error rate) no longer satisfies the demands involved.

Alternatively it would be possible to measure the power of the received signal and, on the basis of that information, to determine the most favorable symbol immediately without passing through stepwise regulation.

That energy budget optimization is necessary for each subscriber within a network as the channel properties generally differ considerably.

Figure 9 shows an embodiment of a transmitter-receiver arrangement 150 for wireless connection with energy budget management.

A signal received by an antenna 152 is firstly amplified in a low-noise amplifier 154 (LNA) and then in a receiver 158 passed at the same time to an RSSI detector 156 and a demodulator and detector unit 159. A microprocessor 160 can calculate the received energy from the signal delivered by the RSSI detector 156 and in turn determine therefrom the optimum signal which, with the given reception quality, maintains the highest data rate and at the same time can be sufficiently reliably received. The output signal of the demodulator and detector unit 159 is also passed to the microprocessor 160 for further processing.

Then, the kind of symbol used can be agreed between two stations in a handshake protocol, in which case the most reliable connection can be selected during the phase of that matching operation, that is to say transmission is effected with the longest symbols.

In accordance with that procedure the transmitter-receiver arrangement in Figure 9 also has a transmitter 162 which is connected to the antenna 152 and which is also connected to the microprocessor 160. Optionally, the assembly may include a memory 164 with stored parameters or signal patterns of data symbols of different duration and modulation. The transmitter includes a symbol generator 163 which is also connected at the input side to the microprocessor and to the output side of which is connected an amplifier (PA).

Two intercommunicating transmitter-receiver arrangements should preferably be of a flexible design configuration. It is even possible to achieve the optimum results by the transmitter 162 emitting one kind of symbol and the receiver 158 of the same assembly receiving a different kind of symbol in the context of a connection.

A transmitting-receiving change-over switch 151 is optionally provided in order to switch over between the transmitting mode and the receiving mode.

Figures 10 through 13 show variants of the embodiment of Figure 9. The description hereinafter of those variants is concentrated on the differences in relation to the arrangement of Figure 9. The same

references are used for units which correspond in the comparison with the arrangement of Figure 9.

In the digital portion 178, the microprocessor 160 can be programmed and controlled by way of a connected interface 178.

5 The transmitter and receiver arrangement in Figure 10 is additionally designed for chirp signal production. For that purpose the receiver 170 and the transmitter 172 have mutually complementary dispersive delay sections DDL2 and DDL1. In the transmitter a symbol generator 174 controlled by the microprocessor 160 is connected to the input side of the delay section
10 DDL1. In the receiver 170, a demodulator and detector block 176 is connected to the output side of the delay section DDL2.

Symbols produced are transformed into chirp signals in the transmitter 172 by means of the delay section DDL1. They use the full available bandwidth. In the receiver, the transformation is reversed by
15 means of the complementary filter DDL2. The elongated chirp signals are converted to short signal peaks.

The transmitter and receiver arrangement in Figure 11 differs from that shown in Figure 10 by a channel estimation unit 182 which is additionally provided in the receiver portion 170. In that way it is possible
20 to optimize the operation of determining the optimum energy of the signals to be transmitted. Thus the necessary spreading effect as well as the energy required in that case can be directly estimated without testing all available signals in a tedious process.

Figure 12 shows a variant which, in comparison with the
25 arrangement shown in Figure 11, provides for the production of pseudo-noise sequence for spreading the signals. For that purpose an m-sequence generator 184 which is connected on the input side of the symbol generator 174 is provided in the digital portion 178. The stored possible symbol durations are now a multiple of a chip duration. Prior to transmission of the
30 symbols, the required part of the m-sequence is superimposed on the symbol in the symbol generator 174 so that the symbols are spread to the maximum bandwidth. Pulse shaping is additionally provided in a pulse shaping unit 186 so that the predetermined bandwidth is observed.

Figure 13 shows a variant in the form of a transceiver module 190 in the form of software radio which has programmable functional blocks which in respect of their function correspond to the above-described unit of the transmitter-receiver arrangements described there.

- 5 As a further difference in relation to the arrangements in the preceding Figures, this arrangement has a chirp signal generator 192. An analog-digital converter converts the incoming analog signals on the receiver side into digital signals for further processing in the digital portion. A digital-analog converter 196 is correspondingly provided for transmission.

10

Appendix 1

Table overview of the parameters and symbols used

Parameter/symbol	Unit	Description
$\circ - \bullet$		symbol which characterizes the Fourier transform
\Leftrightarrow		symbol which indicates the equivalence of two equations
\Rightarrow		symbol which indicates a logical consequence
$\stackrel{!}{=}$		symbol indicating a postulate, here a postulated identity
α		propagation coefficient
δ	[s]	time duration of the compressed chirp signal
λ	[mm]	wavelength
φ	[rad]	azimuth angle
ψ	[W/W]	spread gain
ω	[Hz]	angular frequency
B	[Hz]	bandwidth
A	[m ²]	area
BER		bit error rate
BLER		block error rate
C	[bits/s]	channel capacity
E	[Ws]	energy
E_b	[Ws]	energy of a bit
E_{b_min}	[Ws]	minimum energy required to receive a bit
$E_{b_receive_EBM}$	[Ws]	energy in EBM per received bit

$E_{b_send_EBM}$	[Ws]	energy in EBM per transmitted bit
E_{BS_EBM}	[Ws]	energy radiated in total by a base station, for the design of a cell using EBM
$E_{BS_classical}$	[Ws]	energy radiated in total by a base station for a classical design of a cell
ED	[Ws/Hz/s]	energy density (for example in accordance with Wigner-Ville)
E_{min}	[Ws]	minimum energy per symbol required for reception
$E_{receive}$	[Ws]	received energy per symbol
E_s	[Ws]	symbol energy
ESD	[[Ws/Hz]	energy spectral density
E_{send}	[Ws]	energy of the transmitted symbol
E_{send_EBM}	[Ws]	energy of the transmitted symbol using EBM
E_{symbol_send}	[Ws]	energy of the transmitted symbol
f_1	[Hz]	lower limit frequency of a spectrum
f_2	[Hz]	upper limit frequency of a spectrum
f_{active}	[1/m ²]	density of the active users per unit of area
f_{active_EBM}	[1/m ²]	density of the active users per area of unit using EBM
FER		frame error rate
f_g	[Hz]	upper limit frequency in the baseband

M		number of various "states" of a symbol
N	[W]	noise power
n		number of various symbols in MDMA with different symbol durations
N_0	[W/Hz]	noise power density
N_{channel}		number of active channels in a cell
$N_{\text{channel_EBM}}$		number of active channels in a cell using EBM
P_{receive}	[W]	received power per symbol
P_{send}	[W]	maximum transmission power
r	[m]	distance variable
r_{cell}	[m]	radius of a cell
r_{EBM}	[m]	radius of a cell when using EBM
R_{ref}	[bits/s]	data rate per subscriber in reference cell
r_{ref}	[m]	radius of a reference cell
R_{user}	[bits/s]	data rate per user
S	[W]	signal power at receiving end
t_1	[s]	moment in time
t_2	[s]	moment in time
t_3	[s]	moment in time
T	[s]	minimum symbol duration with respect to bandwidth B
T_{channel}	[s]	duration of a time slot in TDMA
T_{Chirp}	[s]	time duration of a chirp signal

T_{FRAME}	[S]	frame time duration
T_{ref}	[s]	symbol duration in a reference cell
T_{symbol}	[s]	time duration of a symbol
$T_{\text{symbol_EBM}}$	[s]	time duration of a symbol using EBM

Appendix 2

Formulae of the calculations relating to Figure 5

$$E_{receive}(r) = \frac{E_{send}}{1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \right)^2} \quad (19)$$

$$E_{min} = P_{receive}(r_{ref}) \cdot T_{ref} = \frac{P_{send} \cdot T_{ref}}{1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{ref}}{\lambda} \right)^2} = \frac{E_{send}}{1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{ref}}{\lambda} \right)^2} \quad (20)$$

$$f_{active}(r, \varphi) = \frac{N_{channel}}{\pi \cdot r_{ref}^2} \quad (21)$$

$$E_{send_EBM}(r) = \left[1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \right)^2 \right] \cdot E_{min} \quad (22)$$

$$E_{BS_EBM} = \iint_A E_{send_EBM}(r) \cdot f_{active}(r, \varphi) \cdot dA \quad (23)$$

$$E_{BS_EBM}(r_{cell}) = \frac{1}{2} E_{min} \cdot \frac{N_{channel_EBM}}{r_{ref}^2} \cdot \left[2 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{cell}}{\lambda} \right)^2 \right] \cdot r_{cell}^2 \quad (24)$$

$$2 \ll \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{ref}}{\lambda} \right)^2 \quad (25)$$

$$f_{active}(r, \varphi) = \frac{N_{channel}}{\pi \cdot r_{ref}^2} = f_{active_EBM}(r, \varphi) = \frac{N_{channel_EBM}}{\pi \cdot r_{ref}^2} \quad (26)$$

$$E_{BS_EBM}(r_{cell}) = \frac{1}{2} E_{min} \cdot \frac{N_{channel}}{r_{ref}^2} \cdot \left[2 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{cell}}{\lambda} \right)^2 \right] \cdot r_{cell}^2 \stackrel{!}{=} E_{BS_classical} \quad (27)$$

$$\frac{1}{2} \frac{2 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{EBM}}{\lambda} \right)^2}{1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{ref}}{\lambda} \right)^2} \cdot \frac{r_{EBM}^2}{r_{ref}^2} = 1 \quad (28)$$

$$E_{b_receive_EBM} = \frac{E_{b_send_EBM}}{1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \right)^2} = E_{b_min} \quad (29)$$

$$E_{b_send_EBM}(r) = \left[1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \right)^2 \right] \cdot E_{b_min} \quad (30)$$

$$\log_2[M(r)] = \frac{1}{1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \right)^2} \cdot \frac{E_{send}}{E_{b_min}}, \quad (31)$$

$$E_{BS_EBM} = \iint_A E_{b_send_EBM}(r) \cdot f_{active}(r, \varphi) \cdot dA. \quad (32)$$

$$E_{BS_EBM}(r_{cell}) = \frac{1}{2} E_{b_min} \cdot \frac{N_{channel_EBM}}{r_{ref}^2} \cdot \left[2 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{cell}}{\lambda} \right)^2 \right] \cdot r_{cell}^2, \quad (33)$$

$$E_{BS_classical} = N_{channel} \cdot E_{send} = \left[1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{ref}}{\lambda} \right)^2 \right] \cdot E_{b_min} \quad (34)$$

CLAIMS

1. A method of transmitting a plurality of symbols each having at least one bit from a transmitter to at least one receiver using at least one channel and a predetermined transmission power,

- wherein the symbols are transmitted with a receiver-specific transmission energy which on the part of the receiver results in the reception of the symbol with a reception energy which corresponds to an upper limit value associated with the receiver or a lower value of an error recognition rate in comparison with the upper limit value, and

- wherein to achieve the receiver-specific transmission energy and at the same time a bit rate which is as high as possible in dependence on the currently prevailing transmission conditions between the transmitter and the receiver the symbol duration or the number per symbol of transmitted bits or the symbol duration and the number per symbol of transmitted bits is adapted.

2. A method of organizing a network wherein for each transmission of a plurality of symbols each with at least one bit from a transmitter to at least one receiver using at least one channel and a predetermined transmission power the symbols are transmitted

- with a receiver-specific transmission energy which on the part of the receiver leads to the reception of the symbol with a reception energy which corresponds to an upper limit value associated with the receiver or a lower value of an error recognition rate,

- wherein in dependence on the currently prevailing transmission conditions between the transmitter and each individual receiver to achieve the receiver-specific transmission energy and at the same time a bit rate which is as high as possible the symbol duration, or the number per symbol of transmitted bits, or the symbol duration and the number per symbol of transmitted bits is adapted.

3. A method as set forth in claim 1 or claim 2 wherein exclusively the symbol duration is adapted.

4. A method as set forth in claim 1 or claim 2 comprising a step of selecting between three available adaptation options, namely adaptation of the symbol duration, adaptation of the number per symbol of transmitted bits and adaptation both of the symbol duration and also the number per symbol of transmitted bits.

5. A method as set forth in one of the preceding claims wherein in channel-specific fashion on time average the predetermined transmission power and/or the radiated electrical field strength and/or the radiated magnetic field strength and/or the spectral power density in the context of admissible power radiation or a parameter correlated with one or more of said parameters assumes a limit value corresponding to the maximum possible transmission energy per unit of time in the context of admissible radiation.

6. A method as set forth in one of the preceding claims wherein the predetermined transmission power is at a maximum on time average in the context of the technical design of the transmitter.

7. A method as set forth in one of the preceding claims wherein the transmission power can be predetermined.

8. A method as set forth in one of the preceding claims comprising an additional step of ascertaining a currently prevailing value in respect of the reception energy with a given transmission energy.

9. A method as set forth in one of the preceding claims wherein an RSSI measurement (radio signal strength indicator) in respect of the received power is carried out on the part of the receiver and a signal dependent on the measurement result is transmitted to the transmitter.

10. A method as set forth in one of the preceding claims comprising an alternative or additional step of ascertaining a currently prevailing value in respect of the error recognition rate.

11. A method as set forth in claim 10 wherein the error recognition rate is ascertained by determining the number of errors within a received data frame.

12. A method as set forth in claim 10 or claim 11 wherein the error recognition rate is ascertained by averaging the number of errors in a plurality of data frames.

13. A method as set forth in claim 12 wherein the error recognition rate is ascertained by means of the number of negative receipt signals from the receiver over a predetermined period of time.

14. A method as set forth in one of the preceding claims wherein the error recognition rate is a bit error rate (BER), a block error rate (BLER) or a frame error rate (FER).

15. A method as set forth in one of the preceding claims wherein adaptation of the symbol duration is effected in dependence on the currently prevailing value of the error recognition rate at the receiver end or a currently prevailing magnitude at the receiver end of the noise power density.

16. A method as set forth in one of the preceding claims wherein the receiver communicates to the transmitter the currently prevailing error recognition rate or the currently prevailing magnitude of the noise power density.

17. A method as set forth in one of the preceding claims wherein the transmitter estimates the currently prevailing error recognition rate at the receiver end or the currently prevailing magnitude of the noise power density.

18. A method as set forth in one of the preceding claims wherein the symbol duration or the number of bits contained in a symbol or both is adjusted down dynamically in dependence on the currently prevailing transmission conditions between transmitter and receiver in an existing

connection or an ongoing data traffic without the connection or the data traffic being interrupted.

19. A method as set forth in one of the preceding claims wherein the change in the symbol duration takes place continuously in respect of time, alternatively quasi-continuously, alternatively at predetermined time intervals.

20. A method as set forth in one of the preceding claims wherein the symbol duration is adapted in channel-specific fashion, that is to say individually on each channel used.

21. A method as set forth in one of the preceding claims wherein the symbol duration is restricted towards short symbol duration values in channel-specific fashion by the bandwidth of the channel.

22. A method as set forth in one of the preceding claims wherein the symbol duration is determined from a continuous value spectrum.

23. A method as set forth in one of claims 1 through 21 wherein the symbol duration is determined from a discrete value spectrum, wherein the discrete value spectrum contains the integral multiples of a symbol duration which is the shortest possible in channel-specific relationship.

24. A method as set forth in one of the preceding claims wherein the symbol duration T_{symbol} is determined at the transmitter end in accordance with the formula:

$$T_{symbol} = \frac{E_{min} \cdot \left(\frac{r}{r_0} \right)^\alpha}{P_{send}}$$

wherein E_{min} is the reception energy corresponding to the upper limit value associated with the receiver in respect of the error recognition rate, P_{send} is the maximum transmission power, r is the distance between transmitter and receiver, r_0 is a reference distance and α is a propagation coefficient.

25. A method as set forth in one of the preceding claims wherein the selection of the number per symbol of transmitted bits is effected in dependence on the currently prevailing value of the error recognition rate at the receiver end or on a currently prevailing magnitude at the receiver end at the noise power density.

26. A method as set forth in one of the preceding claims wherein the number per symbol of transmitted bits is adapted in channel-specific relationship.

27. A method as set forth in one of the preceding claims wherein adaptation of the number per symbol of transmitted bits is effected when a symbol duration which is shortest in channel-specific relationship is already used.

28. A method as set forth in one of the preceding claims wherein a type of symbol with the highest possible number of bits is selected for transmission, which at the receiver end does not cause the upper limit value of the error recognition rate to be exceeded.

29. A method as set forth in one of the preceding claims wherein the symbols are transmitted divided up to a respective sequence of chips.

30. A method as set forth in claim 29 wherein the symbols are spread in respect of frequency by being modulated with a noise or pseudo-noise sequence, the noise or pseudo-noise sequence being known to the receiver.

31. A method as set forth in claim 30 wherein the noise or pseudo-noise sequence is dynamically adapted to the selected symbol duration.

32. A method as set forth in one of the preceding claims wherein the symbols are transmitted in such a way that the available channel bandwidth is fully used.

33. A method as set forth in one of the preceding claims wherein the symbols are transmitted spread in respect of frequency.

34. A method as set forth in one of the preceding claims wherein the symbols are transmitted in the form of a chirp signal.

35. A method as set forth in claim 34 wherein chirp signals from the transmitter, which are intended for a respective receiver, are superimposed in respect of time.

36. A method as set forth in claim 35 wherein the total of the transmission powers, radiated in a moment in time, of the mutually superimposed chirp signals is equal to the maximum admissible transmission power on the respective channel.

37. A method as set forth in one of the preceding claims wherein the symbols are transmitted in the form of a CDMA sequence.

38. A method as set forth in one of the preceding claims wherein the symbols are transmitted in the frame of a FDMA method.

39. A method as set forth in claim 38 wherein division into FDMA channels is effected dynamically in such a way that a lower bandwidth is allocated to receivers with good channel transmission conditions.

40. A method as set forth in one of the preceding claims wherein a TDMA method is used on at least one channel.

41. A method as set forth in one of the preceding claims wherein the transmitter is a mobile terminal of a user and prior to the transmission of the symbols to a base station receives from the base station information about a frequency band to be used for the transmission.

42. A method as set forth in one of the preceding claims wherein a base station operating as a receiver checks incoming signals from a mobile terminal operating as a transmitter with a plurality of modulation modes

and uses a modulation mode recognized as correct for reception of the signals from the mobile terminal.

43. A method as set forth in one of the preceding claims wherein a base station operating as a receiver receives incoming signals by means of a plurality of receivers, wherein a modulation mode is associated with each receiver and a mobile terminal operating as a transmitter uses one of the modulation modes available at the transmitter end for transmission of symbols to the base station.

44. A transmitter adapted for carrying out a method as set forth in one of the preceding claims.

45. A transmitter for carrying out a method as set forth in one of the preceding claims comprising

a transmitting unit which is adapted to produce signals representing logic symbols (hereinafter referred to as symbols) and emitting same, wherein a logic symbol represents either a bit or a plurality of bits, and

a control unit which is adapted on the basis of items of information present about currently prevailing transmission conditions between the transmitter and a receiver of the symbols to produce and deliver control signals which prescribe for the transmitting unit a receiver-specific transmission energy which corresponds to an upper limit value in respect of a error recognition rate associated with the receiver or a lower value of the error recognition rate than the upper limit value,

wherein the control unit is additionally adapted, for the purposes of achieving the receiver-specific transmission energy and at the same time a bit rate which is as high as possible in dependence on the currently prevailing transmission conditions between the transmitter and the receiver, to produce and deliver control signals which prescribe for the transmitting unit the use of symbols with a suitably adapted symbol duration, or with a suitably adapted number per symbol of transmitted bits, or with a suitably adapted symbol duration and a suitably adapted number per symbol of transmitted bits.

46. A transmitter as set forth in claim 44 wherein the control unit is adapted solely in accordance with the alternative, for production of the receiver-specific transmission energy and at the same time a bit rate which is as high as possible in dependence on the currently prevailing transmission conditions between transmitter and receiver to produce and deliver control signals which prescribe for the transmitting unit the use of symbols with a suitably adapted symbol duration.

47. A transmitter as set forth in one of claims 44, 45 or 46 wherein the control unit is adapted in dependence on the currently prevailing transmission conditions between transmitter and receiver to select one or more of a number of available adaptation options and to produce and deliver a control signal indicating the selection made, wherein the adaptation options include adaptation of the symbol duration, adaptation of the number per symbol of transmitted bits and adaptation both of the symbol duration and also the number per symbol of transmitted bits.

48. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 47 wherein the control unit is adapted to control the transmitting unit in such a way that in channel-specific relationship on time average the transmission power and/or the radiated electrical field strength and/or the radiated magnetic field strength and/or the spectral power density in the context of admissible power radiation is equal to a predetermined maximum value or is a maximum within the limits of the technical design of the transmitter or a parameter correlated with one or more of said parameters assumes a limit value corresponding to the maximum possible transmission energy per unit of time in the context of admissible radiation.

49. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 48 wherein the control unit is adapted to estimate the currently prevailing error recognition rate on the part of the receiver or the currently prevailing magnitude of the noise power density.

50. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 49 wherein the control unit is adapted to re-determine the symbol duration or the number of bits contained in a symbol or both in dependence on currently prevailing transmission conditions between transmitter and receiver dynamically in an existing connection or an ongoing data traffic and to prescribe same for the transmitting unit by means of suitable control signals and that the transmitting unit is adapted to effect the prescribed adaptations without an interruption in the connection or the data traffic.

51. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 50 wherein the control unit is adapted to re-determine the symbol duration continuously in respect of time, alternatively quasi-continuously or alternatively at predetermined time intervals.

52. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 51 wherein the control unit is adapted to determine the symbol duration in channel-specific fashion, that is to say individually on each channel used.

53. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 52 wherein the control unit is adapted to determine the symbol duration T_{symbol} in accordance with the formula:

$$T_{\text{symbol}} = \frac{E_{\text{min}} \cdot \left(\frac{r}{r_0} \right)^\alpha}{P_{\text{send}}}$$

wherein E_{min} is the reception energy corresponding to the upper limit value of the error recognition rate which is associated with the receiver, P_{send} is the maximum transmission power, r is the distance between transmitter and receiver, r_0 is a reference distance and α is a propagation coefficient.

54. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 53 wherein the control unit is adapted to effect the choice of the number per symbol of transmitted bits in dependence on the currently prevailing value of an error recognition rate at the receiver end or on a currently prevailing magnitude of the noise power density at the receiver end.

55. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 543 wherein the control unit is adapted to adapt the number per symbol of transmitted bits in channel-specific relationship.

56. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 55 wherein the control unit is adapted to effect adaptation of the number per symbol of transmitted bits when a symbol duration which is shortest in channel-specific relationship is already being used.

57. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 56 wherein the control unit is adapted to select that type of symbol with the highest possible number of bits for transmission, which at the receiver end does not allow the upper limit of the error recognition rate to be exceeded.

58. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 57 wherein the transmitting unit is adapted to emit the symbols distributed to a respective sequence of chips.

59. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 58 wherein the transmitting unit is adapted to emit the symbols spread in respect of frequency insofar as it modulates them with a noise or pseudo-noise sequence which is predetermined by the control unit, the noise or pseudo-noise sequence being known to the receiver.

60. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 59 wherein the control unit is adapted to adapt the noise or pseudo-noise sequence to be used by the transmitting unit dynamically to the selected symbol duration.

61. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 60 wherein the control unit is adapted to actuate the transmitting unit for emission of the symbols in such a way that the available channel bandwidth is fully used.

62. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 61 wherein the transmitting unit is adapted to emit the symbols spread in respect of frequency.

63. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 62 wherein the transmitting unit is adapted to emit the symbols in the form of a chirp signal.

64. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 63 wherein the transmitting unit is adapted to superimpose in respect of time the chirp signals intended for a respective receiver.

65. A transmitter as set forth in claim 64 wherein the total of the transmission powers, radiated at a moment in time, of the mutually superimposed chirp signals is equal to the maximum admissible transmission power on the respective channel.

66. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 65 wherein the transmitting unit is adapted to transmit the symbols in the form of a CDMA sequence or in the frame of a FDMA method or in the frame of a TDMA method.

67. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 66 wherein the control unit is adapted in dependence on the currently prevailing transmission conditions between transmitter and receiver to produce and deliver a control signal which prescribes for the transmitting unit the use of one of a plurality of available multiple access methods in the communication with said receiver.

68. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 67 wherein the transmitting unit is connected to a data memory which contains transmission parameters or signal patterns of different symbol types.

69. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 68 with a dispersive delay section for signal spreading.

70. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 69 comprising a sequence generator connected to the transmitting unit and adapted to produce a m-sequence for signal spreading.

71. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 70 wherein signals which can be emitted are stored in a memory or can be read out of a shift register structure.

72. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 71 wherein the transmitting unit is adapted to produce any signal to be emitted by execution of one or more algorithms which are implemented in the form of a corresponding circuit or in the form of software and to produce the respective signal which is to be currently emitted in dependence on control signals from the control unit.

73. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 72 wherein the transmitting unit has a signal sequencer and an IQ modulator unit connected on the output side thereof, and is adapted to pass a signal to be emitted, after the production thereof, to the signal sequencer and then to the IQ modulator unit and then to convert it directly into the carrier band.

74. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 73 wherein the transmitting unit is adapted to produce signals to be transmitted internally digitally and wherein the transmitting unit has a digital-analog converter to which the internally produced digital signals are passed prior to radiation.

75. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 74 with a programmable transmitter structure (software radio).

76. A transmitter as set forth in claim 75 wherein the transmitter structure is dynamically variable.

77. A transmitter as set forth in one of claims 44 through 76 comprising a channel estimation unit.

78. A transmitter-receiver arrangement comprising a transmitter device and a receiver device, wherein the transmitter device has the features of the transmitter of one of claims 44 through 77.

79. A transmitter-receiver arrangement as set forth in claim 78 which is in the form of a mobile terminal of a user and wherein the receiver device is adapted to receive from an associated base station information about a frequency band to be used for the transmission and to pass that information prior to transmission of symbols to the base station to the transmitter device.

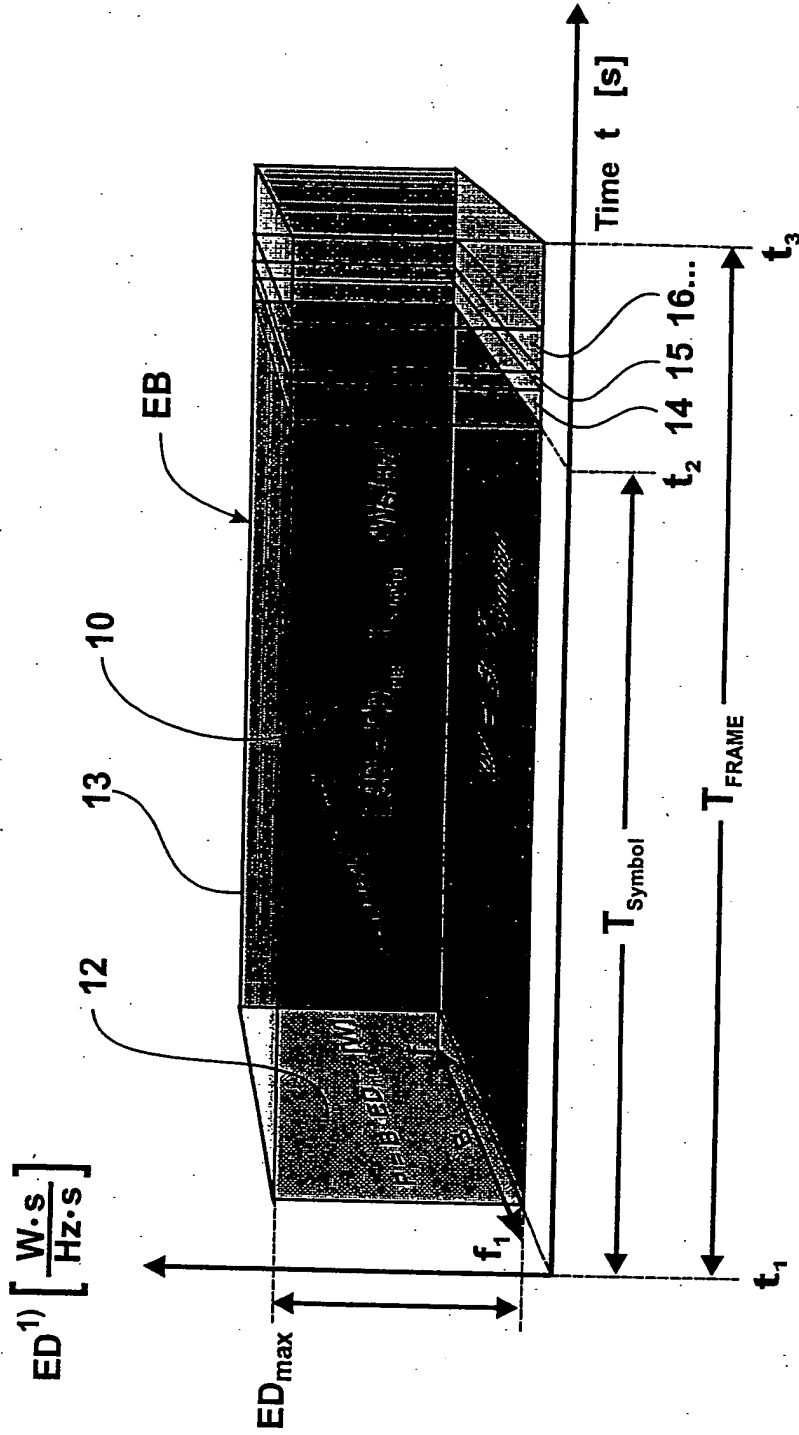
80. A transmitter-receiver arrangement as set forth in claim 79 which is in the form of a base transceiver station of a mobile radio network.

81. A transmitter-receiver arrangement as set forth in one of claims 78 to 80 wherein the receiver device is adapted to effect an RSSI measurement (radio signal strength indicator) of a power received from a second transmitter-receiver arrangement by way of a communication channel and to communicate to the transmitter device a signal which is dependent on the measurement result, and wherein the transmitter device is adapted to transmit a signal representative of the measurement result to the second transmitter-receiver arrangement.

82. A transmitter-receiver arrangement as set forth in claim 81 wherein the control unit of the transmitter device produces its control signals in dependence on the result of an RSSI measurement obtained from the second transmitter-receiver arrangement.

83. A receiver for carrying out the method as set forth in one of claims 1 through 43.

It is proposed that a receiver-specific regulation of the transmission energy of a symbol to be transmitted is effected by adaptation of the symbol duration or by adaptation of the number of bits transmitted with the symbol or by both measures in combination, in each case using a respective predetermined transmission power. As a result each of the measures provided for adjustment of the transmission energy effects adaptation of the symbol duration per bit, that is to say the ratio of the symbol duration to the number of bits contained therein. What is crucial for adaptation in each case is observing, or, in an alternative form of the method, falling below, an upper limit value in respect of an error recognition rate associated with the respective receiver, when using the predetermined transmission power. The transmission method according to the invention therefore, to clearly indicate the distinction from power management methods, can also be referred to as energy management in the form of bit duration management (BDM). That is a significant difference in relation to previously known methods and this signifies a completely new network organization which is referred to as energy budget management.



1) ED: Energy density according to Wigner-Ville

Fig. 1

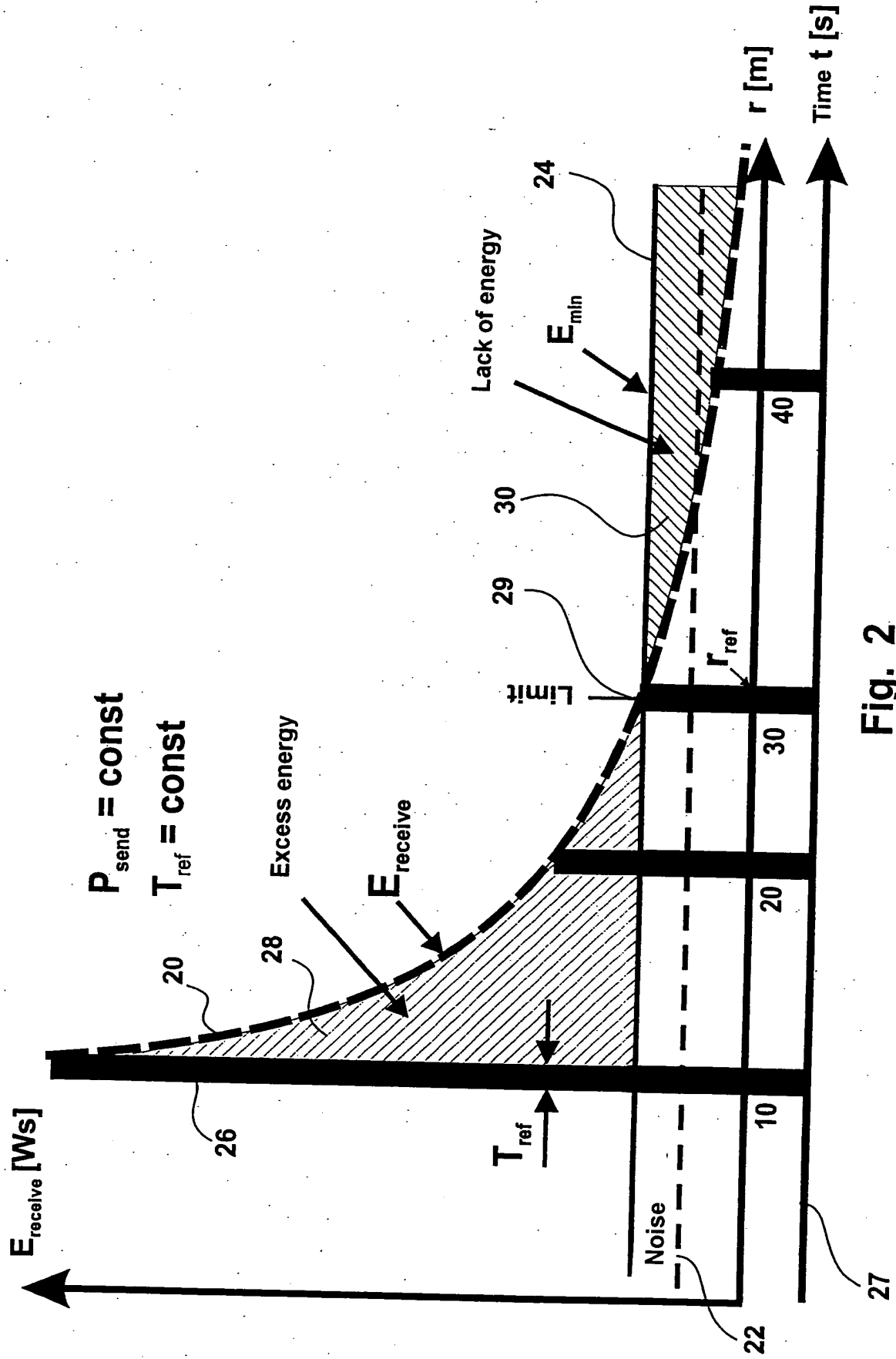


Fig. 2

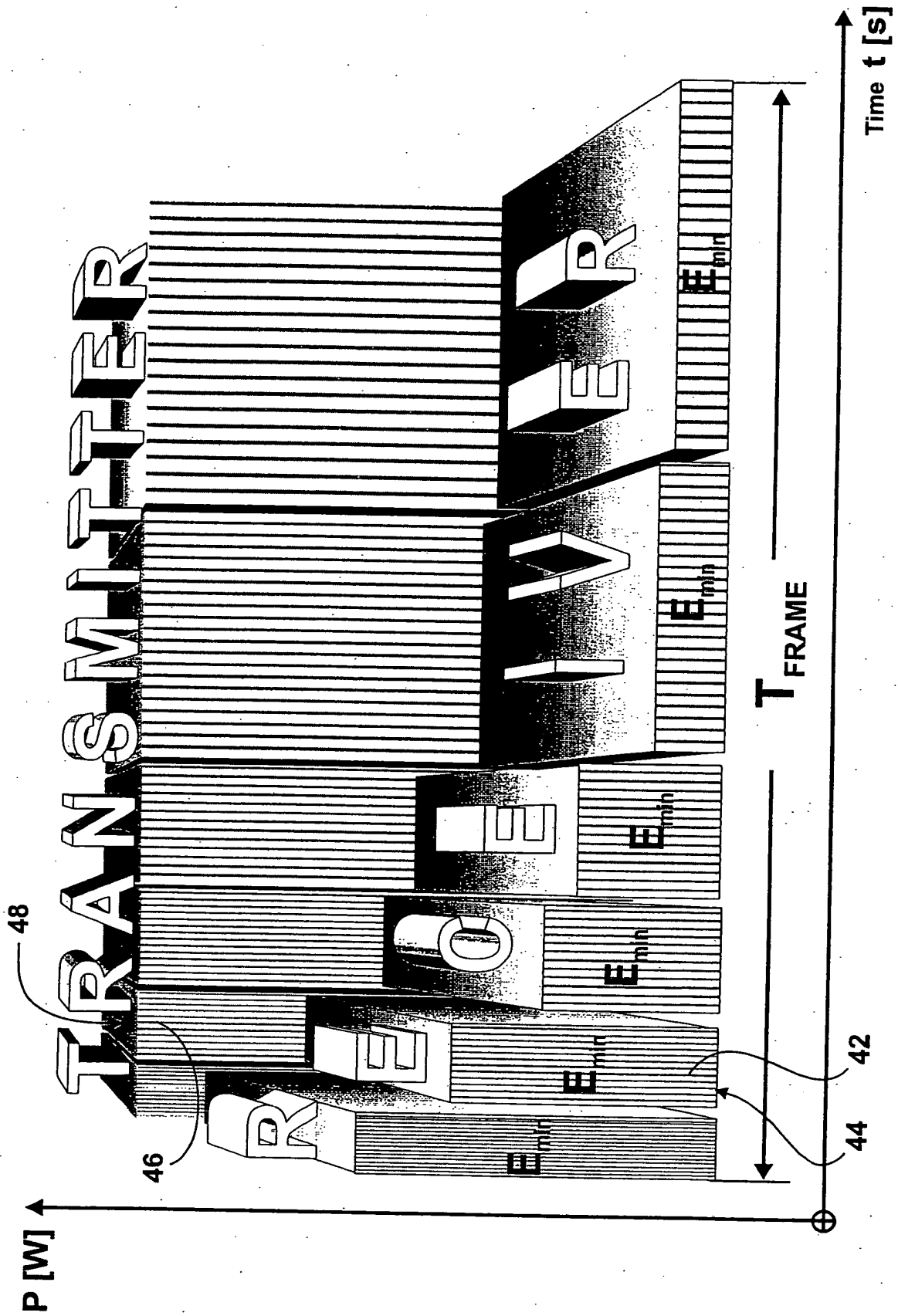
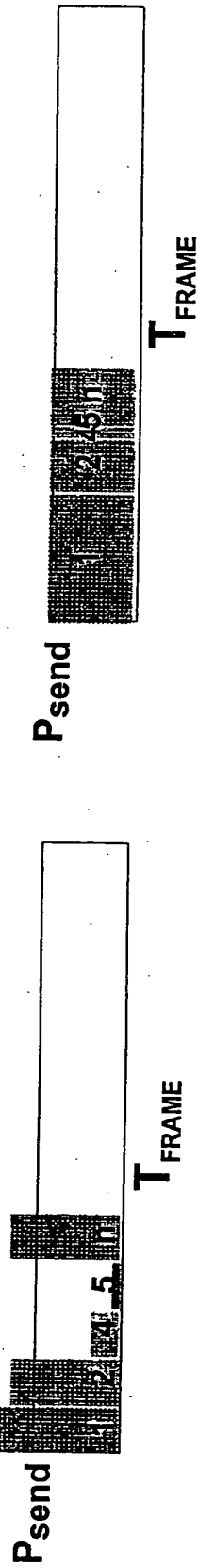
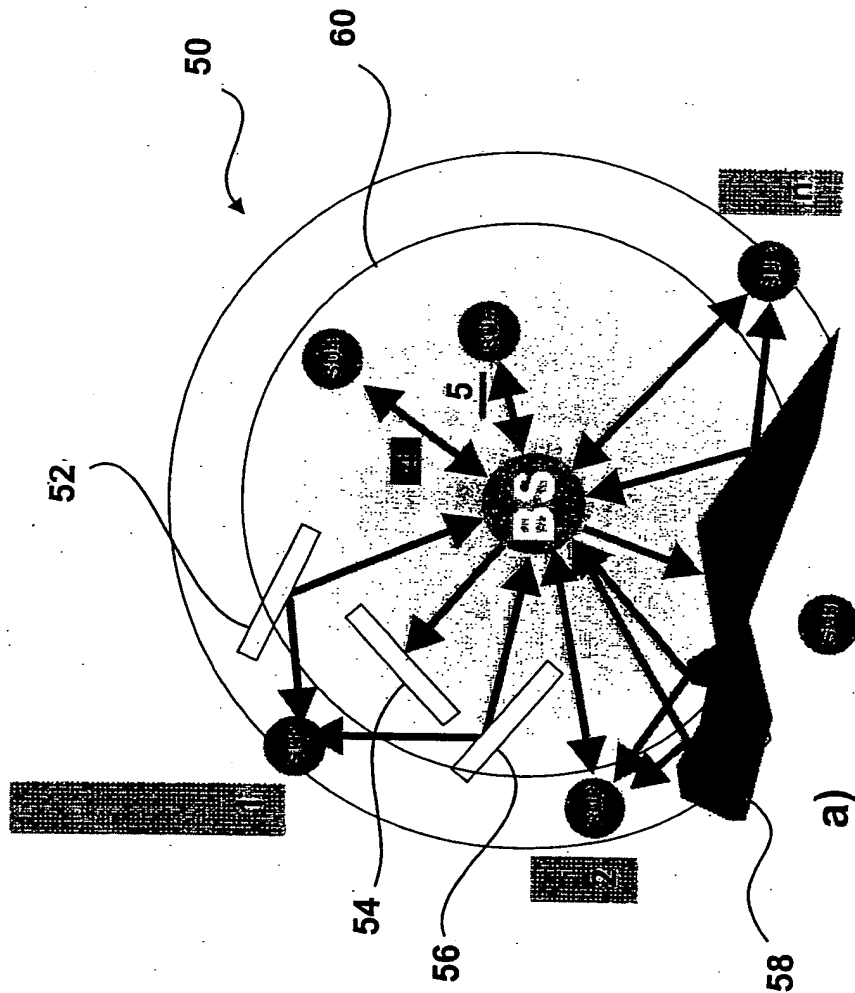


Fig. 3



b) POWER MANAGEMENT

c) DSM AND EBM

Fig. 4

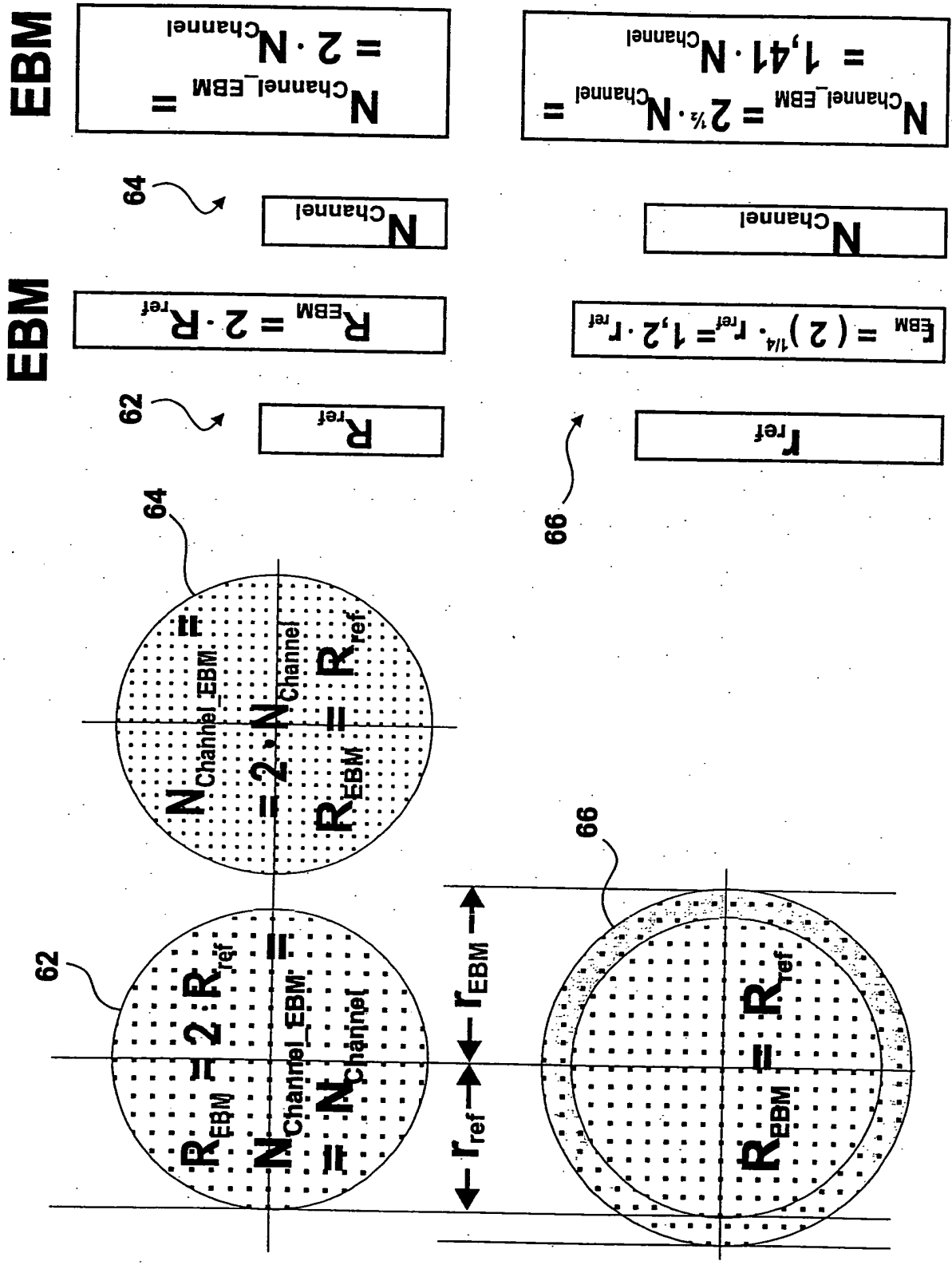


Fig. 5

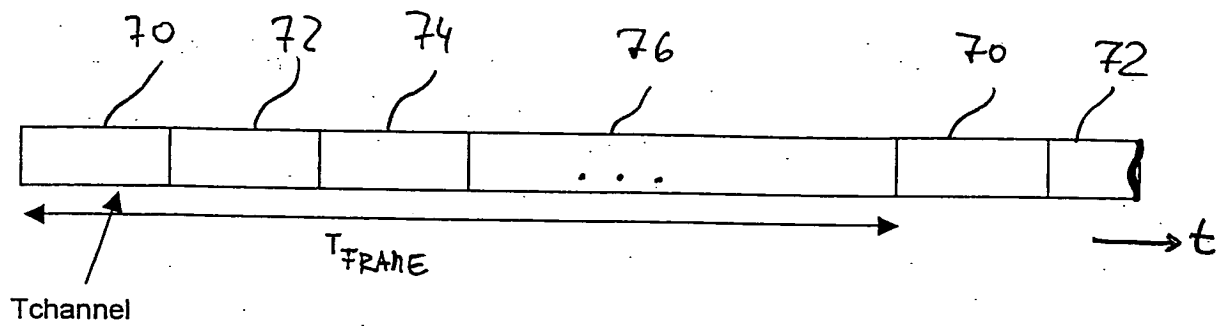


Fig. 6

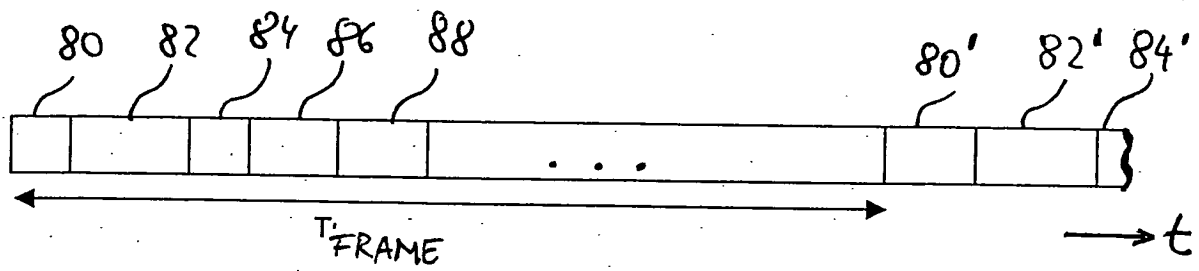


Fig. 7

Frequency
spreading

$$V = \frac{B}{R}$$

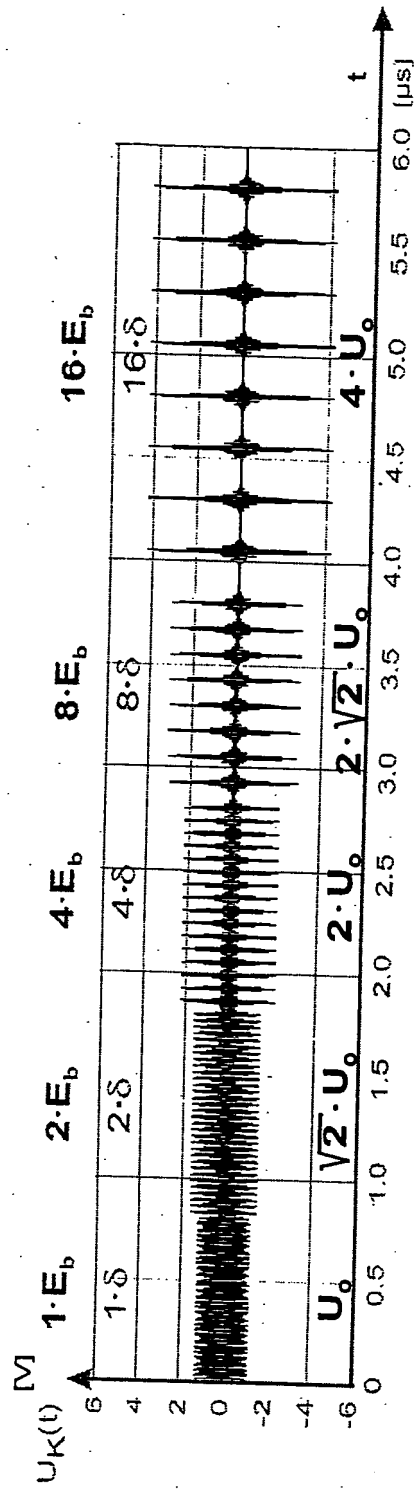


Fig. 8a

Time
spreading

$$\psi = \frac{T_{\text{Chirp}}}{\delta} =$$

$$= T_{\text{Chirp}} \cdot B$$

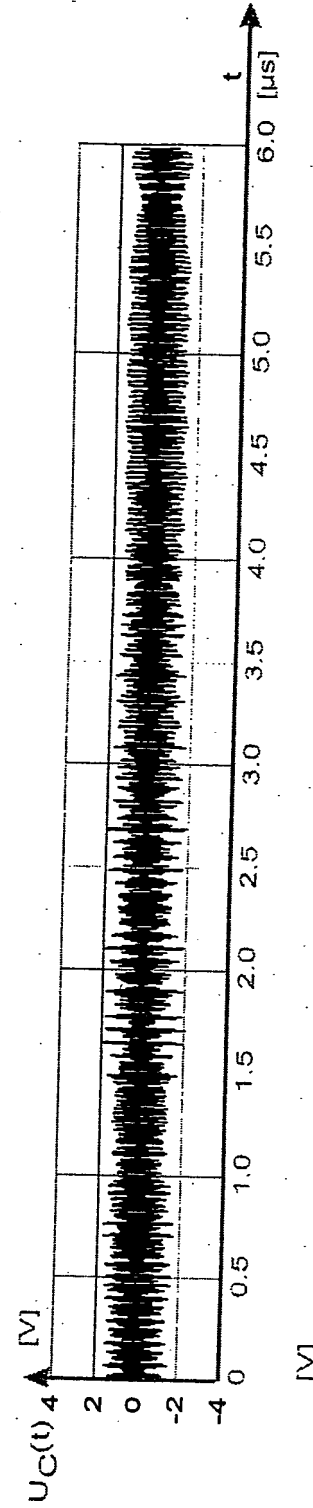


Fig. 8b

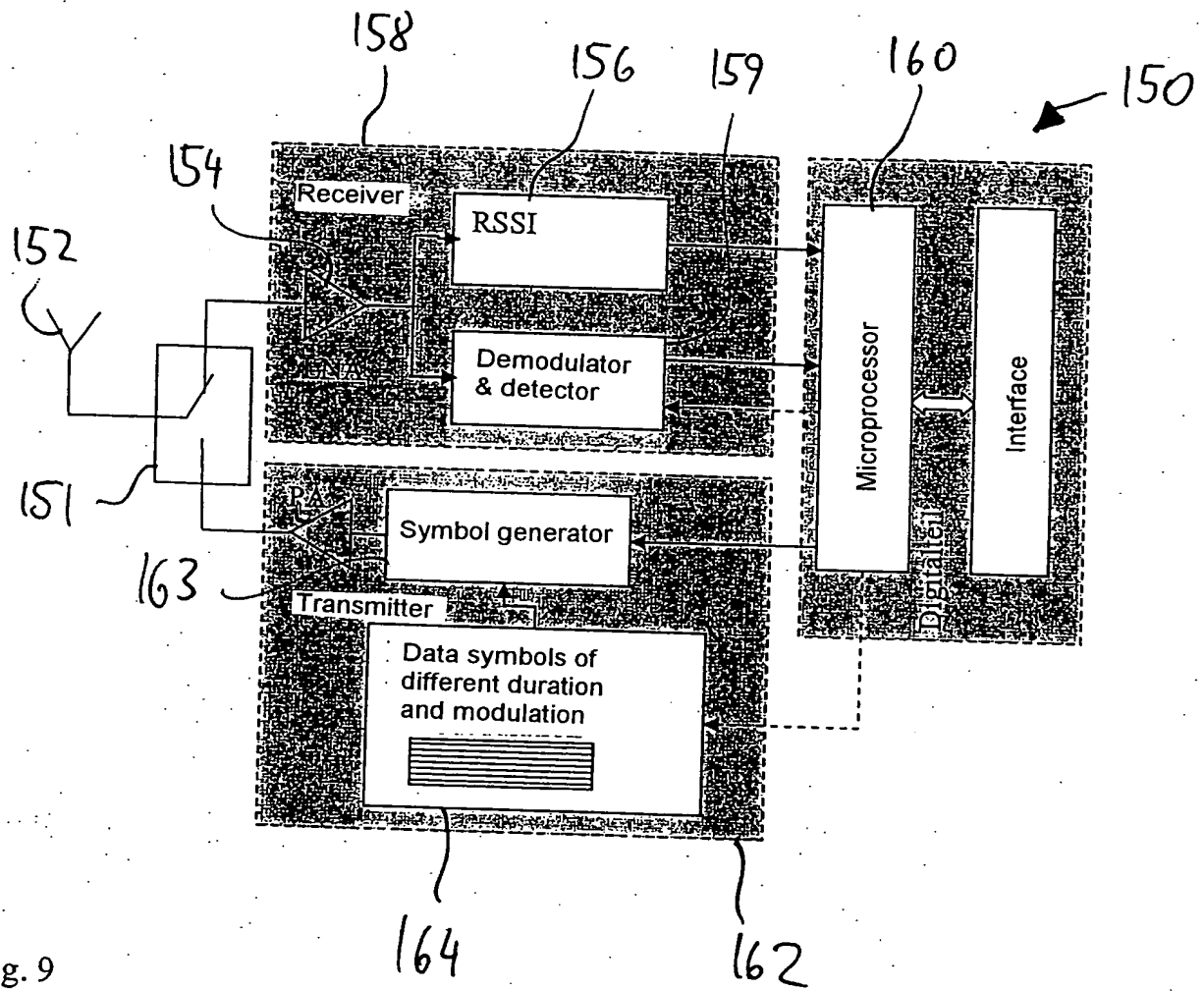


Fig. 9

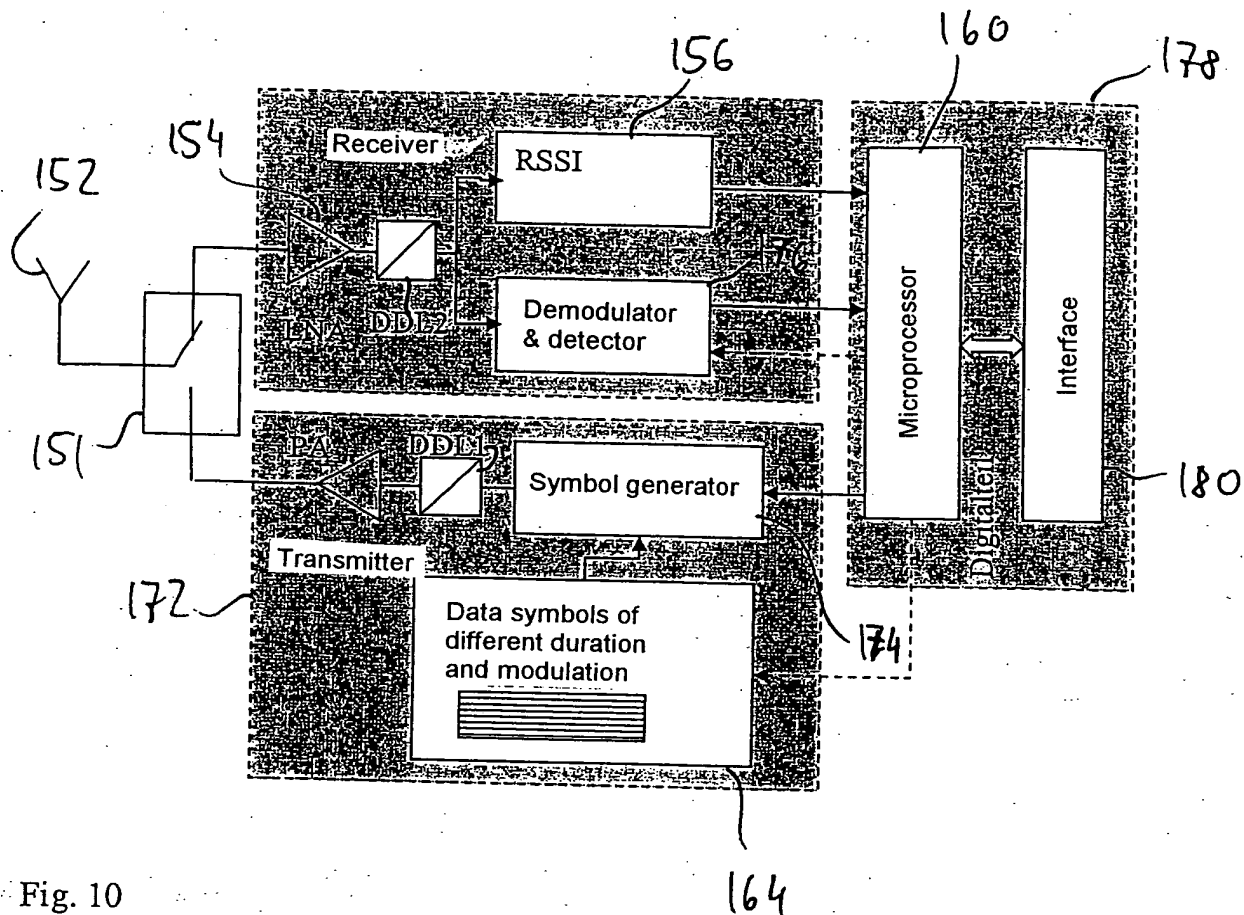


Fig. 10

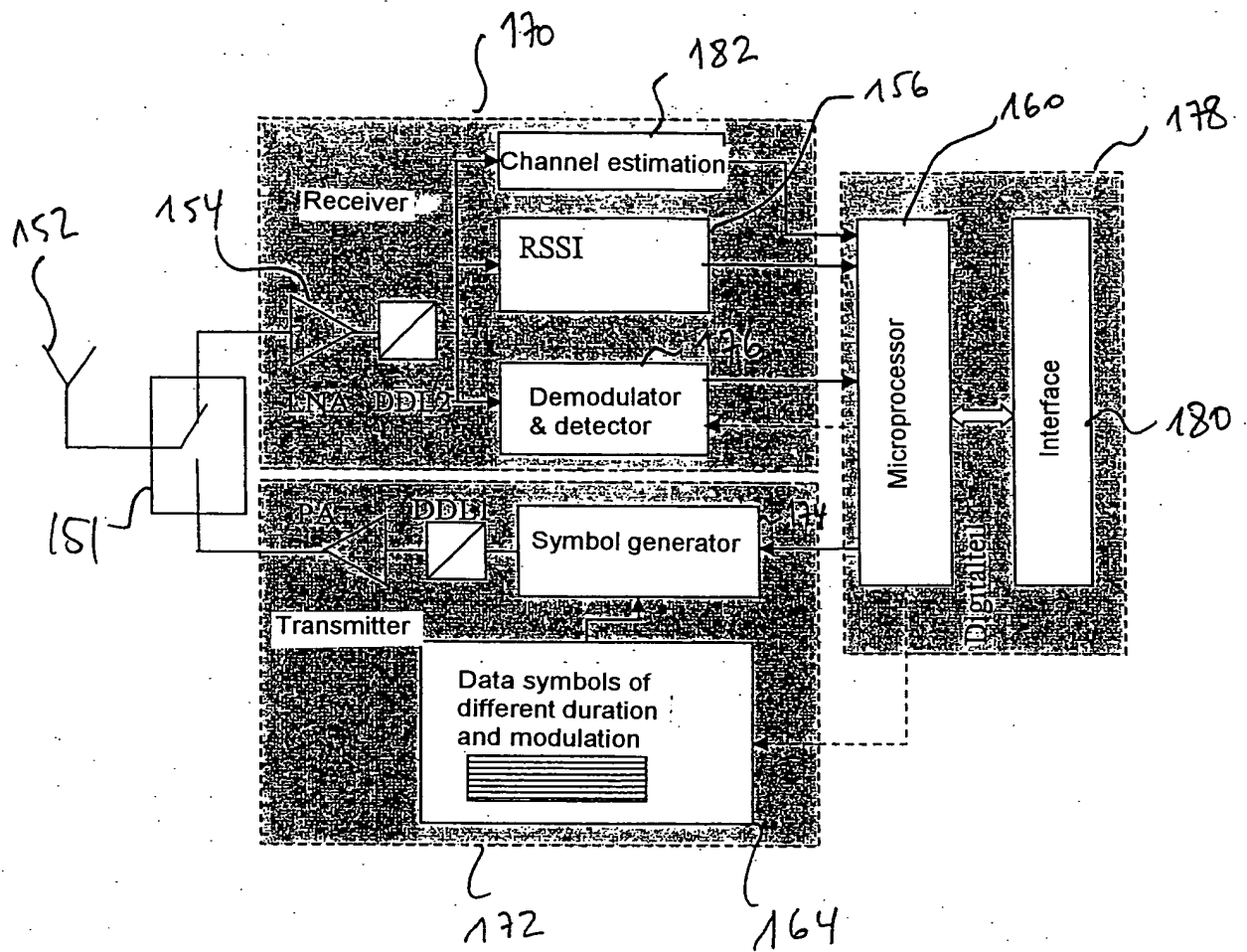


Fig. 11

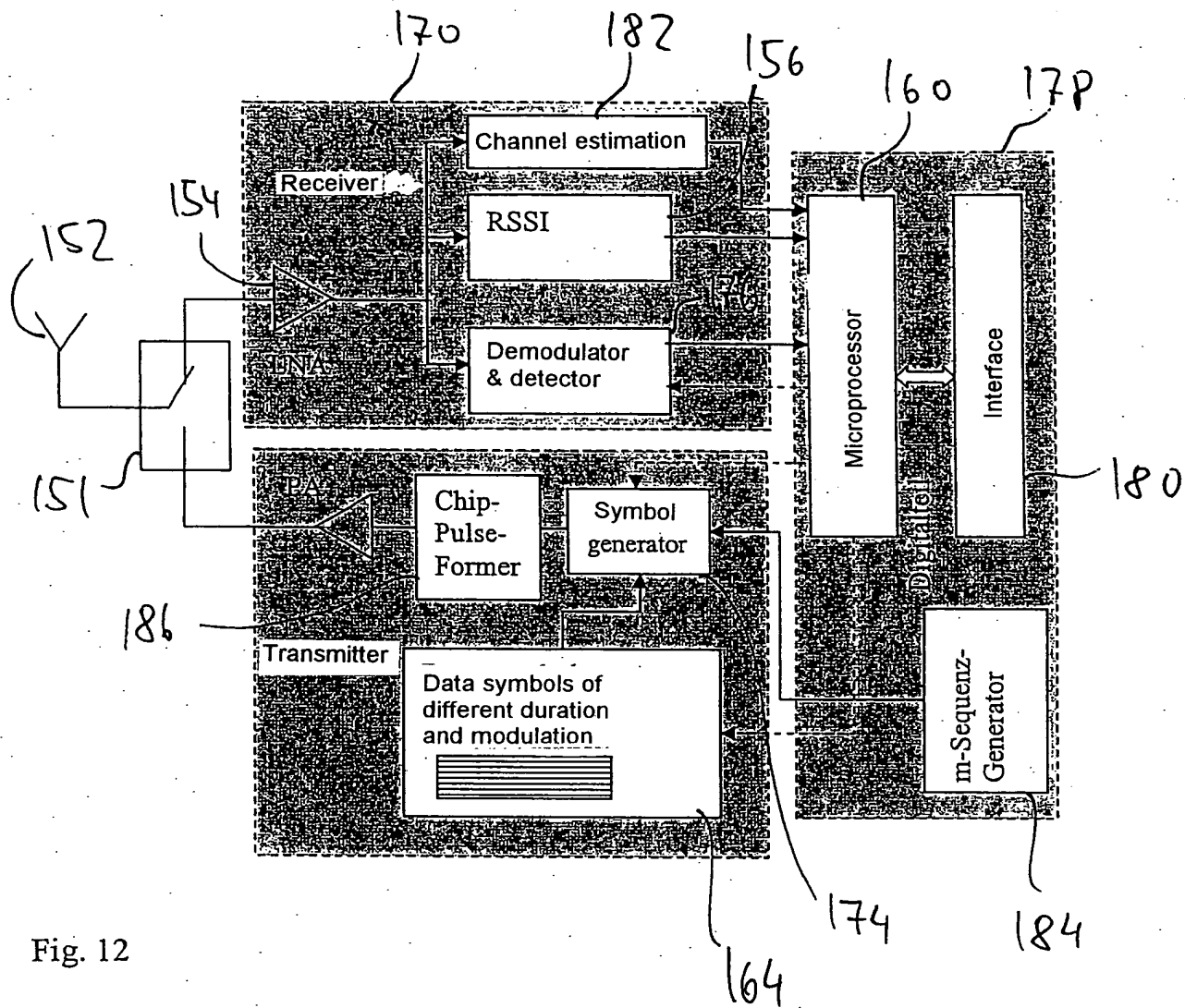


Fig. 12

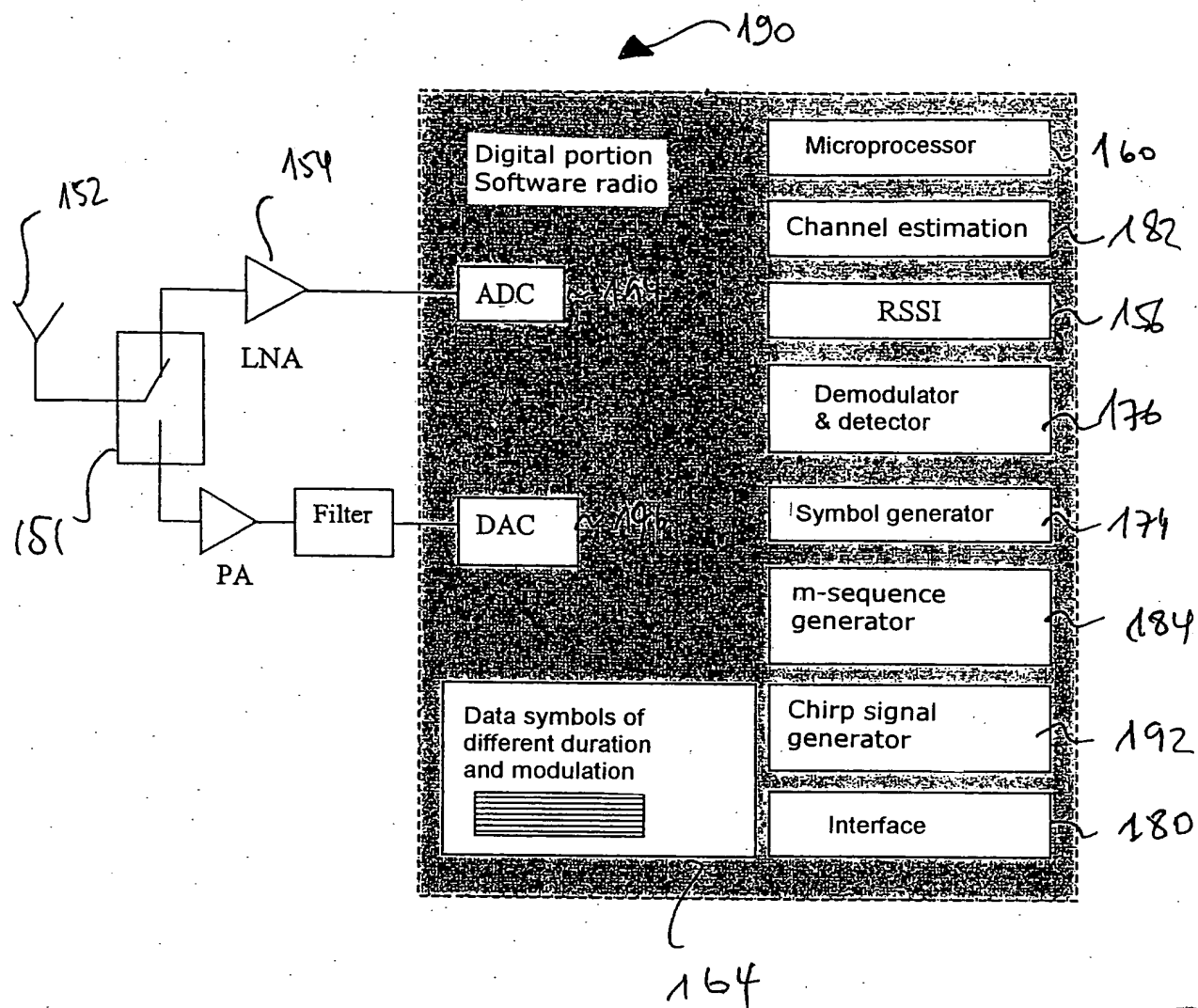


Fig. 13

Berlin, 26. Juli 2004
Unser Zeichen: NB 2288-03WO LE/jwd
Durchwahl: 030/ 841 887 16
Anmelder/Inhaber: NANOTRON TECHNOLOGIES
Amtsaktenzeichen: Neuanmeldung

Nanotron Technologies GmbH
Alt-Moabit 61, D-10555 Berlin

Informationsübertragung mit Energie-Budget-Management

- Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Übertragung einer Vielzahl von Symbolen mit je mindestens einem Bit von einem Sender zu mindestens einem Empfänger unter Verwendung mindestens eines Kanals und ein Verfahren zur Organisation eines Netzwerkes, bei dem für jede Übertragung einer
- 5 Vielzahl von Symbolen mit je mindestens einem Bit von einem Sender zu mindestens einem Empfänger unter Verwendung mindestens eines Kanals Symbole gesendet werden. Weiterhin betrifft die Erfindung einen Sender, einen Empfänger und ein Sende- und Empfangssystem zur Durchführung des Verfahrens.
- 10 Die Nachrichtentechnik beschäftigt sich allgemein mit der Übertragung von Informationen von einer Nachrichten-Quelle, einem Sender, zur Nachrichten-Senke, einem Empfänger. Das zur Übertragung verwendete Medium wird als Kanal bezeichnet.

Die verschiedenen Kanäle, die in der Nachrichtentechnik zur Übertragung von Informationen zwischen Sender und Empfänger verwendet werden können, unterscheiden sich wesentlich von einander. Drahtgebundene Verbindungen zeichnen sich einerseits durch wenige Störungen, andererseits durch eine nur
5 begrenzte Bandbreite aus. Für drahtlose Verbindungen sind einerseits viele Störungen und Echos, andererseits eine relativ große Bandbreite charakteristisch. Weiterhin gibt es Glasfaserverbindungen mit extrem großen Bandbreiten und geringen Störungen.

Als Kanalressourcen werden beispielsweise die Bandbreite, die maximale
10 Sendeleistung und die Zeit definiert. In speziellen Anwendungen wird stattdessen beispielsweise die spektrale Leistungsdichte oder die spektrale Energiedichte definiert.

Eine wirtschaftliche Verwendung der Kanalressourcen wird durch deren gemeinsame Nutzung für möglichst viele Verbindungen angestrebt. Insbesondere
15 hat es sich bei großen Netzwerken wie örtlichen Telefonnetzen im Sinne einer möglichst weitgehenden Nutzung der zur Verfügung stehenden Kanalkapazität als nicht sinnvoll erwiesen, jedem Teilnehmer im Rahmen einer leitungsvermittelten Verbindung einen festen Teil der vorhandenen Kanalkapazität zuzuordnen. Mit verschiedenen Multiplexing-Techniken wird bei vorbe-
20 kannten Übertragungsmethoden Kanalkapazität auf die einzelnen Teilnehmer in einem LAN, WLAN, GSM-Netz, UMTS-Netz, Telefonnetz, usw. verteilt.

Bei allen Multiplex-Verfahren wird die vorhandene Kanalkapazität aufgeteilt. Bei den Verfahren TDMA (Time Division Multiple Access) und FDMA (Frequency Division Multiple Access) erfolgt diese Aufteilung auf der physikalischen Ebene, indem Zeitschlitz
25 e oder Frequenzbänder eingerichtet werden, die verschiedenen Nutzern zugeteilt werden. Außerdem gibt es CDMA (Code Division Multiple Access) Systeme, die diese Aufteilung durch die Kodierung realisieren, indem jedem Nutzer verschiedene, in speziellen Ausprägungen orthogonale Codes zugeordnet werden, so dass die für einen Empfänger be-

stimmte Nachricht bei empfängerseitiger Kenntnis des jeweiligen Codes von den für andere Empfänger bestimmten Nachrichten separiert werden kann.

Die Planung und Entwicklung eines Netzwerkes orientiert sich an den verschiedenen Kanaleigenschaften. Beispielsweise wird die Optimierung der Zellgröße in einem GSM-Netzwerk in Abhängigkeit von der geographischen Lage und damit der vorhandenen Teilnehmerdichte und der Mehrwege-Bedingungen vorgenommen. Dabei werden die Planungen auf den sog. „Worst-Case“ ausgerichtet. Das heißt, es wird eine maximale Entfernung im Netzwerk oder eine minimale Empfangsleistung (Sensitivity) vorgegeben. Das Netzwerk wird so dimensioniert, dass alle Teilnehmer die gleiche Symbolrate empfangen können.

Damit ist sichergestellt, dass auch solchen Empfängern, für die die schlechtesten Übertragungsbedingungen bestehen, noch ein Mindestmaß an Übertragungsqualität bereitgestellt werden kann. Die Übertragungsqualität ist beispielsweise anhand einer Fehl-Erkennungsrate, beispielsweise einer Bitfehler-rate (Bit Error Rate, BER) beim Empfänger quantifizierbar. Im Rahmen dieser Anmeldung werden die in der Fachwelt bekannten unterschiedlichen Arten von Fehlerraten unter dem Oberbegriff Fehl-Erkennungsrate zusammengefasst.

Der Stand der Technik im Gebiet des Kanal-Managements soll nun an einigen Beispielen erläutert werden.

a) WLAN Standard 802.11 b

Gemäß diesem Standard für lokale drahtlose Übertragungsnetze (Wireless local area network, WLAN) für die Übertragung von Daten im ISM-Band bei 2.45 GHz werden:

- CDMA Sequenzen verwendet, um gegen Mehrwegeausbreitung robust zu sein,

- ggf. RAKE-Receiver eingesetzt, um die Energie der einzelnen Mehrwegepfade optimal zu bündeln,
- fehlerkorrigierende Codes verwendet, um trotz einzelner Fehler im Datenstrom die korrekte Information zu entschlüsseln, und
- 5 • verschiedene Modulationsarten (BPSK, QPSK, CCK) eingesetzt, um je nach Qualität des Kanals die maximale oder eine den Anforderungen entsprechende Datenrate zu übermitteln.

Für einzelne Peer-to-Peer Verbindungen innerhalb eines Netzwerkes kann damit, je nach der Qualität des zur Verfügung stehenden Übertragungskanals, 10 die Datenrate den Gegebenheiten angepasst werden, so dass in einem Netzwerk verschieden schnelle Verbindungen dynamisch aufgebaut werden.

Bezogen auf die Eigenschaften des Übertragungskanals ist es damit möglich, entweder die maximale Datenrate von 11 Mbps zu übertragen, oder einen zusätzlichen Faltungscodes einzusetzen und auf 5.5 Mbps zurückzugehen, 15 oder bei noch schlechteren Kanälen die höherstufige Modulation CCK zu vermeiden und nur mit QPSK oder sogar nur mit BPSK zu übertragen, so dass die Datenraten auf die während der Übertragung verwendete Symbolrate (1 MSps) zurück geht und nur noch 1 Mbps möglich ist. Dabei werden unter Beibehaltung der ursprünglichen Spreizung des Daten-Symbols verschiedene 20 Modulationsarten verwendet. Teilnehmer, die aufgrund einer zu großen Entfernung eine zu große Dämpfung aufweisen, können nicht mehr erreicht werden. Weiterhin ist die Kapazität des Kanals damit nicht optimal ausgeschöpft.

b) UMTS

Dieser Mobilfunkstandard (Universal Mobile Telecommunication Service) weist 25 ähnliche Eigenschaften auf wie der Standard 802.11 b. Im Mobilfunkbereich greift eine Vielzahl von Teilnehmern auf eine Basisstation zu. Hierzu wird ein CDMA (Code Division Multiple Access) -Verfahren verwendet, bei dem jeder

Teilnehmer einen festen Code dynamisch zugewiesen bekommt. Zusätzlich sind die Antennen der Basisstation so angeordnet, dass verschiedene Sektoren entstehen, die sich gegenseitig nur gering beeinflussen („Space-diversity“).

- 5 UMTS weist ein Powermanagement auf, mit dem versucht wird, die in der Basisstation empfangene Leistung aller Teilnehmer annähernd gleich zu halten. Dies ist für die Trennung der CDMA-Kanäle von entscheidender Bedeutung. Gleichzeitig wird versucht, alle Teilnehmer in einem Netzwerk auf eine möglichst geringe Sendeleistung abzustimmen.
- 10 Der Einsatz von langen CDMA Sequenzen und Rake-Empfängern ermöglicht diesem System eine gewisse Robustheit gegen die starke Mehrwegeausbreitung. Dennoch ist die Zellgröße hier stark eingeschränkt im Vergleich zum GSM. Die verwendete Bandbreite ist aufgrund eines eingesetzten Spreizverfahrens relativ groß. Dennoch verfügt jeder Teilnehmer aufgrund der verwendeten
- 15 CDMA-Sequenzen, die ein Datensymbol repräsentieren, nur über eine vergleichsweise stark reduzierte Datenrate.

- Eine Spreizung erfolgt, indem, bezogen auf die vorgegebene Bandbreite, kurze physikalische Symbole definiert werden, die als Chips bezeichnet werden. Die gesendeten, Information tragenden Symbole bzw. teilnehmerspezifischen
- 20 CDMA-Sequenzen erstrecken sich über mehrere Chips.

- Das so konstruierte System ist starr und garantiert jedem Teilnehmer einer Zelle die Einhaltung der minimalen Übertragungsqualität. Dass dies in modernen Netzen nicht mehr ausreicht, war den Entwicklern jedoch bewusst, so dass hier dynamische Gestaltungsmöglichkeiten zusätzlich eingebaut wurden.
- 25 Eine Besonderheit des UMTS ist es, eine Kanalbündelung zu gestatten. Einem einzelnen Nutzer werden dabei mehrere logische Kanäle zugewiesen. Damit dieser nicht parallel mehrere CDMA Sequenzen empfangen muss, werden hier verkürzte Sequenzen verwendet. Dadurch wird die Datenrate ange-

hoben. Auf diese Weise kann so genannten "Power Usern" gegen eine entsprechende Gebühr eine höhere Datenrate angeboten werden.

Andererseits sinkt mit solcherart erhöhter Datenrate auch die Robustheit der Datenübertragung. Die erhöhte Datenrate ist daher nur bei Kanälen verfügbar,
5 die eine hinreichend gute Qualität, also eine geringe Rauschleistung aufweisen. Weiterhin nehmen die Störungen gegenüber anderen Nutzern zu und steigt der Managementaufwand gewaltig, weil nur spezielle Kanäle zur Bündelung herangezogen werden können, die alle den neuen verkürzten Code enthalten müssen. Entscheidend aber ist, dass die vorhandenen Kanalressourcen
10 hier nicht optimal genutzt werden..

Aus der DE 199 37 706 A1 ist ein Übertragungsverfahren mit senderseitiger Frequenz- und Zeitspreizung bekannt. Bei diesem auch als Multidimensional Multiple-Access-Verfahren (MDMA) bezeichneten Übertragungsverfahren werden die zu übertragenden Informationssymbole senderseitig einer Frequenzspreizung und einer Zeitspreizung unterzogen. Den einzelnen Teilnehmern
15 kann weiterhin eine unterschiedliche Sendeleistung zugewiesen werden. Empfängerseitig werden die Empfangssignale entspreizt. Die jeweiligen Spreizungen und damit der Systemgewinn können adaptiv auf die geforderte Übertragungsqualität und die aktuellen Kanaleigenschaften abgestimmt werden. Das Maß der Zeitspreizung kann beim Herstellen einer Verbindung zwischen einer Basisstation und einer Teilnehmerstation in Abhängigkeit von Referenzimpulsen erfolgen, die zur Ermittlung der Kanaleigenschaften dienen.
20

MDMA erlaubt es, sich jedem Erfordernis innerhalb eines Netzes sowie jedem Teilnehmer und dessen Qualitätsanforderungen anzupassen. MDMA stellt
25 also eine Maschine dar, die technisch dazu gebraucht werden kann, jeden Teilnehmer optimal zu versorgen.

Das allein genügt jedoch noch nicht. Die Frage stellt sich: Wie muss ein Netzwerk gemanagt werden, damit die wertvollen Nutzen für die Kunden wie Datenrate, Reichweite, Fehlersicherheit, Robustheit usw. optimal geboten wer-

den können? D.h. wie muss die Maschine organisatorisch arbeiten, um die Flexibilität von MDMA in einen ökonomischen Vorteil zu verwandeln?

Das der Erfindung zugrunde liegende technische Problem ist es daher, ein Verfahren zur Übertragung mindestens eines Symbols von einem Sender zu
5 mindestens einem Empfänger bereitzustellen, das eine den Übertragungsbedingungen zwischen Sender und jeweiligem Empfänger entsprechend möglichst hohe Datenrate bereit stellt. Daraus folgt als weiterer Aspekt des der Erfindung zugrunde liegenden technischen Problems, ein Verfahren zur Organisation eines Netzwerkes anzugeben, das jedem beliebigen Teilnehmer innerhalb eines Netzwerkes eine den Übertragungsbedingungen zwischen Sender und jeweiligem Empfänger entsprechend möglichst hohe Datenrate bereit stellt und dabei die zur Verfügung stehenden Kanalressourcen besser aus-
10 nutzt.

Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zur Übertragung einer Vielzahl von Symbolen mit je mindestens einem Bit von einem
15 Sender zu mindestens einem Empfänger unter Verwendung mindestens eines Kanals und einer vorgegebenen Sendeleistung vorgeschlagen,
- bei dem die Symbole mit einer empfängerspezifischen Sendeenergie gesendet werden, die auf Seiten des Empfängers zum Empfang des Symbols mit einer Empfangsenergie führt, welche einem dem Empfänger zugeordneten oberen Grenzwert oder einem geringeren Wert einer Fehl-Erkennungsrate entspricht, und
20 - bei dem zur Erzielung der empfängerspezifischen Sendeenergie und gleichzeitig einer möglichst hohen Bitrate in Abhängigkeit von aktuellen Übertragungsbedingungen zwischen Sender und Empfänger die Symboldauer, oder die Anzahl je Symbol übertragener Bits, oder die Symboldauer und die Anzahl
25 je Symbol übertragener Bits angepasst wird.

Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zur Organisation eines Netzwerkes vorgeschlagen, bei dem für jede Übertragung einer
30 Vielzahl von Symbolen mit je mindestens einem Bit von einem Sender zu min-

destens einem Empfänger unter Verwendung mindestens eines Kanals und einer vorgegebenen Sendeleistung die Symbole gesendet werden

- mit einer empfängerspezifischen Sendeenergie, die auf Seiten des Empfängers zum Empfang des Symbols mit einer Empfangsenergie führt, welche einem dem Empfänger zugeordneten oberen Grenzwert oder einem im Vergleich mit dem oberen Grenzwert geringeren Wert der auftretenden Fehl-Erkennungsrate entspricht,
- wobei in Abhängigkeit von aktuellen Übertragungsbedingungen zwischen Sender und jedem einzelnen Empfänger zur Erzielung der empfängerspezifischen Sendeenergie und gleichzeitig einer möglichst hohen Bitrate die Symboldauer, oder die Anzahl je Symbol übertragener Bits, oder die Symboldauer und die Anzahl je Symbol übertragener Bits angepasst wird.

Die beiden vorgeschlagenen Verfahren fußen auf derselben Erfindung. Das erfindungsgemäße Verfahren gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung, nachfolgend als erfindungsgemäßes Übertragungsverfahren bezeichnet, gibt eine technische Regel für die Datenübertragung zwischen einem Sender und mindestens einem Empfänger an. Die Verwendung dieser technischen Regel in einem Netzwerk für jede Übertragung einer Vielzahl von Symbolen zwischen einem Sender und mindestens einem Empfänger bildet darauf aufbauend eine technische Regel für die Organisation des Netzwerkes gemäß dem Verfahren nach dem zweiten Aspekt der Erfindung. Das letztere Verfahren wird nachfolgend auch als das erfindungsgemäße Netzwerkorganisationsverfahren bezeichnet.

Der Einsatz des Übertragungsverfahrens der Erfindung kann auch ohne Verwendung des erfindungsgemäßen Netzwerkorganisationsverfahrens erfolgen, indem nicht bei jeder Übertragung das erfindungsgemäße Übertragungsverfahren eingesetzt wird.

Es versteht sich, dass die Verwendung des erfindungsgemäßen Netzwerkorganisationsverfahrens den Einsatz des Übertragungsverfahrens voraussetzt. Denn das Netzwerkorganisationsverfahren betrifft jede Datenübertragung im

Netzwerk. Der Einsatz des Netzwerkorganisationsverfahrens ermöglicht ein Maximum an Effizienzsteigerung, wie weiter unten ausführlich erläutert wird.

Nachfolgend sollen zum besseren Verständnis der Erfindung einige verwendete Begriffe näher erläutert werden.

- 5 Unter einem Symbol im Sinne der Erfindung ist ein Signal zu verstehen, das ein logisches Symbol repräsentiert, wenn nichts anderes gesagt ist. Ein logisches Symbol kann ein oder mehrere Bits enthalten.

Die Übersendung von Symbolen mit einer empfängerspezifischen Sendeenergie bedeutet, dass grundsätzlich für jeden einzelnen Empfänger individuell
10 ell die Sendeenergie bestimmt wird. Die Bestimmung der Sendeenergie erfolgt erfindungsgemäß mit der Maßgabe, dass auf Seiten des Empfängers ein Empfang des Symbols mit einer Empfangsenergie erfolgt, welche einem dem Empfänger zugeordneten oberen Grenzwert oder einem geringeren Wert einer Fehl-Erkennungsrate entspricht.

- 15 Dies schließt nicht aus, dass für eine Gruppe mehrerer Empfänger dieselbe Sendeenergie bestimmt wird, wenn beispielsweise für diese Gruppe von Empfängern mit etwa gleichem Abstand von einem Sender gleiche aktuelle Übertragungsbedingungen bestehen.

Unter der vorgegebenen Sendeleistung ist in Abgrenzung von bekannten Powermanagement-Verfahren eine im Rahmen der erfindungsgemäßen Verfahren nicht veränderbare, im zeitlichen Mittel eingehaltene Sendeleistung zu verstehen. Ist zusätzlich oder alternativ eine Obergrenze der Spitzenleistung vorgegeben, wird diese im Rahmen der erfindungsgemäßen Verfahren eingehalten. Es ist jedoch denkbar, dass die Sendeleistungsvorgabe extern
20 geändert wird, worauf hin die erfindungsgemäßen Verfahren durch Anpassung der Symboldauer oder der Anzahl der Bits pro Symbol oder durch Anpassung beider Parameter entsprechend reagieren. Weiter unten sind verschiedene, die Sendeleistungsvorgabe betreffende Ausführungsbeispiele erläutert.
25

- Die aktuellen Übertragungsbedingungen sind durch alle Parameter definiert, die die momentane empfängerseitige Fehl-Erkennungsrate beeinflussen. Einfluss auf die Übertragungsbedingungen haben beispielsweise der Abstand zwischen Sender und Empfänger (Abstandsämpfung), Mehrwegeausbreitung und daraus resultierende Interferenzeffekte beim Empfänger, Störungen, beispielsweise von benachbarten Sendern, und Rauschen, Abschattungseffekte aufgrund von Hindernissen im Signalweg, Kanalinterferenzen und Systeminterferenzen, sowie die verwendete Modulationsart und die zeitliche Dauer der Symbole.
- 5
- 10 Als oberer Grenzwert einer Fehl-Erkennungsrate kann beispielsweise ein Wert einer Bitfehlerrate (Bit Error Rate, BER), einer Rahmenfehlerrate (Frame Error Rate, FER) oder einer Blockfehlerrate (Block Error Rate, BLER) oder jeder äquivalenten Größe mit der Bedeutung einer Fehl-Erkennungsrate verwendet werden.
- 15 Die Zuordnung eines Grenzwerts einer Fehl-Erkennungsrate zu einem Empfänger ergibt sich beispielsweise aus einer dem Nutzer des Empfängers vertraglich garantierten maximalen Fehl-Erkennungsrate oder aus einem mit der Datenübertragung zwischen Sender und Empfänger verbundenen Dienst-Typ (Telefongespräch, e-mail, Multimedia-Datenübertragung, Datenübertragung
- 20 im Rahmen einer Sicherheitsanwendung etc.).

Unter der möglichst hohen Datenrate ist diejenige Datenrate zu verstehen, die bei Verwendung der vorgegebenen Sendeleistung und der empfängerspezifischen Sendeenergie pro Symbol unter Einhaltung der dem Empfänger zugeordneten maximalen Fehl-Erkennungsrate die höchst mögliche ist. Das bedeutet, dass die Datenrate im Gegensatz zu vorbekannten Verfahren von Empfänger zu Empfänger variieren kann. Dies wird weiter unten anhand der Figuren näher erläutert.

25

Nachfolgend wird die erfindungsgemäße Lösung zunächst näher beleuchtet, bevor Ausführungsbeispiele beschrieben werden.

Das Übertragungsverfahren der Erfindung wendet sich von den bekannten Leistungsregelungsverfahren (Powermanagement) ab. Unter anderem steuern beispielsweise die bekannten Verfahren GSM oder CDMA die Leistung des Senders. Dies ist ökonomisch ineffizient für einen Netzbetreiber. Denn
5 durch eine Regelung der Sendeleistung im Rahmen des Powermanagements kann die einem Netzbetreiber zur Verfügung stehende Kanalkapazität nicht optimal genutzt werden. Weiterhin liegt der vorliegenden Erfindung die konsequente Umsetzung der Erkenntnis zugrunde, dass für die Erzielung eines oberen Grenzwertes einer Fehl-Erkennungsrate auf Seiten des Empfängers
10 nicht die Empfangsleistung sondern die Empfangsenergie pro Bit entscheidend ist.

Erfindungsgemäß wird daher vorgeschlagen, eine empfängerspezifische Regelung der Sendeleistung eines zu übertragenden Symbols durch Anpassung der Symboldauer oder durch Anpassung der Anzahl der mit dem Symbol übertragene Bits oder durch beide Maßnahmen in Kombination vorzunehmen,
15 jeweils unter Verwendung einer vorgegebenen Sendeleistung. Im Ergebnis bewirkt jede der vorgesehenen Maßnahmen zur Einstellung der Sendeleistung eine Anpassung der Symboldauer pro Bit, also des Verhältnisses der Symboldauer zur Anzahl der darin enthaltenen Bits. Maßgeblich für die Anpassung ist
20 jeweils die Einhaltung, in einer Verfahrensalternative die Unterschreitung, eines oberen Grenzwertes einer dem jeweiligen Empfänger zugeordneten Fehl-Erkennungsrate, bei Verwendung der vorgegebenen Sendeleistung, sowie die Erzielung einer möglichst hohen Datenrate. Das erfindungsgemäße Übertragungsverfahren kann daher zur Verdeutlichung der Abgrenzung von Powermanagement-Verfahren auch als Energiemanagement in Form eines Bit-Dauer-Managements (Bit Duration Management, BDM) bezeichnet werden.
25 Dies ist ein gravierender Unterschied gegenüber vorbekannten Verfahren, der eine völlig neue Netzwerkorganisation bedeutet und ermöglicht.

Auf der Basis des Bit-Dauer-Managements ermöglicht das erfindungsgemäße
30 Netzwerkorganisationsverfahren eine effizientere Nutzung der einem Netzbetreiber zur Verfügung stehenden Kanalkapazität. In einem Netzwerk

besteht die Aufgabe darin, eine Vielzahl Teilnehmer in einer bestimmten Zeitspanne mit einer bestimmten Informationsmenge zu versorgen. Die bestimmte Zeitspanne bedingt bei vorgegebener Sendeleistung ein Energie-Budget, das in Summe für alle Teilnehmer zur Verfügung steht. Das erfindungsgemäße

5 Netzwerkorganisationsverfahren optimiert jeden Kanal empfängerspezifisch, und zwar derart, dass jedem für einen Teilnehmer bestimmten Symbol die zur Erzielung der vorgegebenen Fehl-Erkennungsrate und einer möglichst schnellen Datenübertragung, das heißt einer möglichst hohen Datenrate, erforderliche Energie zugewiesen wird. Auf diese Weise wird erreicht, dass im Ver-

10 gleich mit bekannten Netzwerkorganisationsverfahren entweder eine größere Informationsmenge übertragen werden kann oder mehr Teilnehmer versorgt werden können.

Dies gelingt nicht durch eine Regelung der Sendeleistung, weil ein Herabsetzen der Sendeleistung unter die Sendeleistungsvorgabe im Rahmen des Po-

15 wermanagements die Ressource Sendeleistung und damit die verfügbare Kanalkapazität nicht voll nutzt. Eine volle Nutzung gelingt nur bei Einhaltung der Sendeleistungsvorgabe.

Das erfindungsgemäße Netzwerkorganisationsverfahren nutzt so die dem

20 Netzbetreiber als Energie-Budget zur Verfügung stehenden Größen Sendeleistung und Zeit in verbesserter Weise. Das Netzwerkorganisationsverfahren der Erfindung wird daher nachfolgend auch als Energie-Budget-Management (EBM) bezeichnet.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele der erfindungsgemäßen Verfahren

25 näher beschrieben. Da das Übertragungsverfahren gewissermaßen die Elementarzelle des Netzwerkorganisationsverfahrens bildet, beziehen sich die nachfolgend beschriebenen Ausführungsbeispiele sowohl auf das Übertragungsverfahren als auch auf das Netzwerkorganisationsverfahren der Erfindung.

Jeder der drei vorgeschlagenen Maßnahmen zur Anpassung der Sendeleistung, die eine Änderung der Symboldauer pro Bit bewirken, entspricht gemäß der Erfindung ein selbständiges Übertragungsverfahren. Eine Kombination der Anpassungsalternativen ist vorteilhaft, aber nicht notwendig.

- 5 In einem ersten Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Übertragungsverfahrens ist daher vorgesehen, allein die Symboldauer anzupassen. In einem zweiten Ausführungsbeispiel ist vorgesehen, allein die Anzahl der Bits pro Symbol anzupassen. In einem dritten Ausführungsbeispiel werden zugleich die Anzahl der Bits pro Symbol und die Symboldauer angepasst.
- 10 In weiteren Ausführungsbeispielen des erfindungsgemäßen Übertragungsverfahrens ist ein Auswahlschritt vorgesehen, bei dem zwischen zwei oder drei der genannten Anpassungsmöglichkeiten gewählt wird: In einem vierten Ausführungsbeispiel findet wahlweise allein eine Anpassung der Symboldauer oder allein eine Anpassung der Anzahl Bits pro Symbol Anwendung. In einem
- 15 fünften Ausführungsbeispiel findet wahlweise allein eine Anpassung der Symboldauer oder eine Anpassung der Symboldauer und zugleich der Anzahl Bits pro Symbol Anwendung. In einem sechsten Ausführungsbeispiel findet wahlweise allein eine Anpassung der Anzahl Bits pro Symbol oder eine Anpassung der Symboldauer und zugleich der Anzahl Bits pro Symbol Anwendung. In
- 20 einem siebten Ausführungsbeispiel findet wahlweise allein eine Anpassung der Symboldauer oder allein eine Anpassung der Anzahl der Bits pro Symbol oder eine Anpassung der Bitdauer und zugleich der Anzahl Bits pro Symbol Anwendung.

- Bevorzugt kann in einem weiteren Ausführungsbeispiel zwischen mehreren
- 25 oder allen der vorgenannten Ausführungsbeispiele gewechselt werden.

Nachfolgend werden einige die Sendeleistungsvorgabe betreffende Ausführungsbeispiele erläutert.

Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist kanalspezifisch die Sendeleistung und/oder elektrischen Feldstärken und/oder magnetischen Feldstärken und/oder spektralen Leistungsdichten im zeitlichen Mittel und im Rahmen zulässiger Leistungsabstrahlung maximal. Die zulässigen Sendeleistungen
5 und/oder elektrischen Feldstärken und/oder magnetischen Feldstärken und/oder spektralen Leistungsdichten sind durch Regulierungsbehörden vorgegeben. Beim erfindungsgemäßen Netzwerkorganisationsverfahren, dem Energie-Budget-Management, wird auf diese Weise eine maximale Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Energie-Budgets erzielt. Die zeitliche Mittelung
10 bezieht sich auf solche Zeitabschnitte, deren Kehrwert deutlich kleiner ist die Bandbreite.

Bei einer weiteren Ausführungsform ist im zeitlichen Mittel die Sendeleistung im Rahmen der technischen Auslegung des Senders maximal. Bleibt diese unterhalb der zulässigen Leistung, so wird auf diese Weise das Maximum der
15 technisch möglichen Ausnutzung des dem Sender zur Verfügung stehenden Energiebudgets erreicht.

Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel kann die Sendeleistung vorgegeben werden. Die Änderung der Sendeleistungsvorgabe stellt einen externen Eingriff in den Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens dar. Beispielsweise
20 kann im Rahmen dieses Ausführungsbeispiels einem Nutzer eines mobilen Endgerätes eine Wahlmöglichkeit der Sendeleistungsvorgabe gegeben werden. Damit kann der Nutzer die Sendeleistung entsprechend seinen Wünschen einstellen, etwa um die Abstrahlung des Gerätes in einer störanfälligen Umgebung so gering wie möglich zu halten. Eine Verringerung der Sendeleistungsvorgabe bewirkt dann bei gleichbleibenden Übertragungsbedingungen
25 eine Verringerung der maximal erzielbaren Datenrate, da die Symbole bei der Übertragung zur Erzielung der Sendeenergie mit einer größeren Symboldauer oder mit einer entsprechend geringeren Anzahl an Bits oder beidem gesendet werden.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele beschrieben, die das Ermitteln der erforderlichen Sendeenergie betreffen.

Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel ist ein Schritt des Ermitteln eines aktuellen Wertes der Empfangsenergie bei gegebener Sendeenergie vorgesehen. Beispielsweise kann auf Seiten des Empfängers eine RSSI-Messung (radio signal strength indicator) der empfangenen Leistung durchgeführt und dem Sender ein vom Messergebnis abhängiges Signal rückübertragen werden.

Alternativ oder zusätzlich kann ein Schritt des Ermitteln eines aktuellen Wertes der Fehl-Erkennungsrate beim Sender oder Empfänger vorgesehen sein. Dabei kann die Fehlerrate durch Bestimmung der Anzahl der Fehler innerhalb eines empfangenen Datenrahmens ermittelt werden. Alternativ kann die Fehl-Erkennungsrate durch Mittelung der Fehleranzahl in einer Mehrzahl von Datenrahmen ermittelt werden. Weiterhin kann die Fehl-Erkennungsrate mit Hilfe der Anzahl negativer Quittungssignale des Empfängers über eine vorgegebene Zeitspanne ermittelt werden. Die Fehl-Erkennungsrate ist beispielsweise eine Bitfehlerrate (BER), eine Blockfehlerrate (BLER) oder eine Rahmenfehlerrate (FER). Darin sind häufig verwendete redundante Codierungen und Wiederholstrategien mit eingeschlossen.

Bei einer weiteren Ausführungsform erfolgt die Anpassung der Symboldauer in Abhängigkeit vom aktuellen Wert der empfängerseitigen Fehl-Erkennungsrate oder von einem aktuellen, empfängerseitigen Betrag der Rauschleistungsdichte.

Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel übermittelt der Empfänger dem Sender die aktuelle Fehl-Erkennungsrate oder den aktuellen Betrag der Rauschleistungsdichte. Alternativ oder zusätzlich schätzt der Sender die aktuelle empfängerseitige Fehl-Erkennungsrate oder den aktuellen Betrag der Rauschleistungsdichte.

Bei einem weiteren Ausführungsbeispiel wird die Symboldauer oder die Anzahl der in einem Symbol enthaltenen Bits oder beides in Abhängigkeit von aktuellen Übertragungsbedingungen zwischen Sender und Empfänger dynamisch in einer bestehenden Verbindung oder einem laufenden Datenverkehr nachgeregelt, ohne dass die Verbindung oder der Datenverkehr unterbrochen wird. Das heißt, die Einstellung der Symboldauer erfolgt nicht nur bei Aufbau der Verbindung, sondern auch während der bestehenden Verbindung, und zwar vorzugsweise für den Empfänger transparent. Die Änderung der Symboldauer kann zeitlich kontinuierlich, alternativ quasi-kontinuierlich, alternativ in vorbestimmten Zeitabständen während der Verbindung erfolgen.

Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird die Symboldauer kanalspezifisch, also auf jedem verwendeten Kanal individuell angepasst. Insbesondere können auf diese Weise einem Empfänger, dem Symbole auf mehreren Kanälen übertragen werden, auf jedem Kanal entsprechend den dortigen Übertragungsbedingungen individuell in ihrer Dauer angepasste Symbole gesendet werden.

Die Symboldauer ist in einem Ausführungsbeispiel zu kurzen Symboldauerwerten hin kanalspezifisch allein durch die Bandbreite des Kanals beschränkt. Auf diese Weise steht ein besonders großer Wertebereich zur Variation der Symboldauer zur Verfügung. Die Symboldauer kann aus einem kontinuierlichen Wertespektrum bestimmt werden, alternativ aus einem diskreten Wertespektrum, wobei das diskrete Wertespektrum die ganzzahligen Vielfachen einer kanalspezifisch kürzestmöglichen Symboldauer enthält.

Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird die Symboldauer T_{symbol} senderseitig entsprechend der Formel:

$$T_{symbol} = \frac{E_{\min} \cdot \left(\frac{r}{r_0} \right)^\alpha}{P_{send}}, \quad (1)$$

bestimmt, wobei E_{\min} die Empfangsenergie ist, die dem Empfänger zugeordneten oberen Grenzwert der Fehl-Erkennungsrate entspricht, P_{send} die maximale Sendeleistung, r die Entfernung zwischen Sender und Empfänger, r_0 eine Bezugsentfernung und α ein Ausbreitungskoeffizient.

- 5 Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele beschrieben, die die Anpassung der Anzahl pro Symbol übertragener Bits oder die Auswahl eines Symboltyps betreffen.

Bei einer weiteren Ausführungsform der Erfindung erfolgt die Auswahl der Anzahl je Symbol übertragener Bits in Abhängigkeit vom aktuellen Wert der
10 empfängerseitigen Fehl-Erkennungsrate oder von einem aktuellen, empfängerseitigen Betrag der Rauschleistungsdichte.

Vorzugsweise wird die Anzahl je Symbol übertragener Bits kanalspezifisch angepasst. Das kann bedeuten, dass ein Empfänger auf unterschiedlichen Kanälen innerhalb einer Verbindung unterschiedliche Symboltypen empfängt.
15 Auf diese Weise kann die Datenrate auf jedem Kanal individuell optimiert werden.

Bei einer weiteren Ausführungsform erfolgt eine Anpassung der Anzahl je Symbol übertragener Bits dann, wenn eine kanalspezifisch kürzeste Symboldauer bereits verwendet wird. Dies erspart Steuerkommunikation zwischen
20 Sender und Empfänger zur Mitteilung des zu verwendenden Symboltyps so lange wie möglich.

Bei einer weiteren Ausführungsform wird ein Symboltyp mit der höchstmöglichen Anzahl an Bits zur Übertragung ausgewählt, welche empfängerseitig den oberen Grenzwert der Fehl-Erkennungsrate nicht überschreiten lässt.

- 25 Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele beschrieben, die verschiedene Übertragungsalternativen betreffen.

- Bei einer weiteren Ausführungsform werden die Symbole jeweils auf eine Sequenz von Chips aufgeteilt übertragen. Dabei können die Symbole in der Frequenz gespreizt werden, indem sie mit einer Noise- (true noise) oder Pseudo-Noise-Sequenz moduliert werden, wobei die Noise- oder Pseudo-Noise-Sequenz dem Empfänger bekannt ist. Vorzugsweise wird die Noise- oder Pseudo-Noise-Sequenz dynamisch der gewählten Symboldauer angepasst. Dies kann beispielsweise erfolgen, indem von einer langen m-Sequenz immer die ersten Chips entnommen werden, so dass diese in Summe die Symboldauer ergeben.
- 10 Alternativ ist es möglich, statt der Pseudo-Noise-Sequenzen CDMA-Sequenzen zu verwenden, so dass parallel mehrere Verbindungen aufgebaut werden können.

- Eine maximale Nutzung der zur Verfügung stehenden Kanalressourcen wird in Bezug auf die Frequenzachse dann erzielt, wenn die Symbole derart übertragen werden, dass die zur Verfügung stehende Kanalbandbreite voll genutzt wird. Vorzugsweise werden die Symbole daher in der Frequenz gespreizt übertragen.
- 15

- Chirpsignale zeigen, dass lange Symbole nicht zwangsläufig eine geringe Bandbreite bedeuten. In einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel werden die Symbole daher in Form eines Chirpsignals gesendet. Die langen Symbole können in diesem Fall durch Chirpsignale ersetzt werden, die die gleiche Dauer aufweisen. In diesem Fall ist das Produkt aus Zeitdauer und Sendeleistung für beide Pulsformen identisch, d.h. die Energie ist gleich. Die Chirpsignale repräsentieren jedoch eine Frequenzmodulation, die im einfachsten Fall linear verläuft, im allgemeinen jedoch beliebige, vorzugsweise entweder monoton steigende oder monoton fallende Funktionsverläufe annehmen kann, und die sich über die gesamte vorgegebene Bandbreite erstrecken kann. Auf diese Weise werden die Signale in der Frequenz gespreizt.
- 20
- 25

In einem weiteren Ausführungsbeispiel können sich die für einen jeweiligen Empfänger bestimmten Chirpsignale des Senders zeitlich überlagern. Hierbei ist vorzugsweise die Summe der in einem Zeitpunkt ausgestrahlten Leistungsbeträge der sich überlagernden Chirpsignale gleich der maximal zulässigen Sendeleistung auf dem Kanal.

Durch die angesprochene Spreizung der Signale entsteht ein Spreizgewinn, der für Kanäle hilfreich ist, die unter einer sehr starken Mehrwegeausbreitung und/oder zusätzlichen Störsignalen leiden. In diesem Fall hängt die Qualität des empfangenen Signals in starkem Maße von der gewählten Spreizung des Signals ab. In das Energie-Budget-Management fließt diese Größe direkt ein, weil immer die maximale Bandbreite genutzt werden kann. Mit zunehmender Zeitdauer der Impulse steigen demnach die Spreizung und gleichzeitig die Symbolenergie.

Die in dem gespreizten Symbol enthaltene Energie kann optimal genutzt werden, wenn entsprechende Korrelationsempfänger verwendet werden, z.B. indem ein entsprechendes „matched Filter“ im Empfänger vorhanden ist, das dynamisch angepasst werden muss.

Alternativ ist es bei den langen Symbolen auch möglich, ein FDMA-Verfahren zu überlagern, so dass die vorhandene Bandbreite geteilt wird und der angesprochene Nutzer nur einen kleinen Teil der Bandbreite zugewiesen bekommt, der mit der Länge des jeweiligen Datensymbols korrespondiert. Es könnten dann zwei oder mehrere FDMA-Kanäle parallel betrieben werden.

Dabei ist die Dynamik des Senders von entscheidender Bedeutung, da bei der Aufteilung in FDMA-Kanäle gleichzeitig der oben erläuterte Fall mit schlechten Kanalbedingungen eine geringere Bandbreite zugewiesen bekommt, und daher die optimalen Symbole länger sind und parallel ein Kanal mit guten Bedingungen kürzere Symbole und damit höhere Bandbreite zugewiesen bekommt.

Hier zeigt sich, dass das erfindungsgemäße Energie-Budget-Management mit praktisch jeder Modulationsart und jedem Zugriffsverfahren verknüpft werden kann.

Bei einer weiteren Ausführungsform wird auf einem Kanal, sobald es die Übertragungs-
5 last des Kanals zulässt, ein Multiplexing-Verfahren, vorzugsweise ein TDMA-Verfahren verwendet. Auf diese Weise kann die verbesserte Ausnutzung der Kanalkapazität für einen Kanal gewährleistet werden, der einem Empfänger mit guten Übertragungsbedingungen zugeordnet ist und über den daher in nur kurzer Zeit die zu übertragenden Informationen gesendet werden
10 können. Die optimale Symbolenergie ist für diesen Fall dadurch bestimmt, dass die Fehl-Erkennungsrate für verschiedene Modulationsarten betrachtet wird, und diejenige Modulationsart ausgewählt wird, mit der gerade noch die erforderliche Qualität der Übertragung sichergestellt ist. Gleichzeitig wird hierdurch diejenige höherstufige Modulation ausgewählt, mit der die Daten mög-
15 lichst schnell übertragen werden können, so dass die angesprochene Kanal-kapazität optimal genutzt wird. Die Symboldauer wird dabei nicht verändert, da diese bereits auf den minimalen Wert reduziert ist, der dem Kehrwert der Bandbreite entspricht.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform ist der Sender ein mobiles Endgerät
20 eines Nutzers und erhält der Sender vor der Übertragung der Symbole zu einer Basisstation von der Basisstation Information über ein für die Übertragung zu nutzendes Frequenzband.

Bei einer weiteren Ausführungsform prüft die Basisstation eingehende Signale des mobilen Endgerätes mit einer Mehrzahl Modulationsarten und verwendet
25 eine als zutreffend erkannte Modulationsart für den Empfang der Signale des mobilen Endgerätes. Beispielsweise empfängt die Basisstation Signale mit Hilfe mehrerer Empfänger, wobei jedem Empfänger eine Modulationsart zugeordnet ist, und das mobile Endgerät eine der senderseitig zur Verfügung stehenden Modulationsarten zur Übertragung von Symbolen zur Basisstation
30 verwendet.

Gemäß einem weiteren Aspekt wird ein Sender zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bereitgestellt.

Ein Sender zur Durchführung eines Verfahrens hat eine Sendeeinheit, die ausgebildet ist, logische Symbole repräsentierende Signale (in diesem Absatz
5 nachfolgend als Symbole bezeichnet) zu erzeugen und auszusenden, wobei ein logisches Symbol entweder ein Bit oder mehrere Bits repräsentiert. Weiterhin hat der Sender eine Steuereinheit, die ausgebildet ist, anhand von vorliegenden Informationen über aktuelle Übertragungsbedingungen zwischen dem Sender und einem Empfänger der Symbole Steuersignale zu erzeugen
10 und abzugeben, die der Sendeeinheit eine empfängerspezifische Sendeenergie vorschreiben, welche einem dem Empfänger zugeordneten oberen Grenzwert einer Fehl-Erkennungsrate oder einem geringeren Wert als dem Grenzwert der Fehl-Erkennungsrate entspricht, wobei die Steuereinheit zusätzlich ausgebildet ist, zur Erzielung der empfängerspezifischen Sendeenergie
15 und gleichzeitig einer möglichst hohen Bitrate in Abhängigkeit von den aktuellen Übertragungsbedingungen zwischen Sender und Empfänger Steuersignale zu erzeugen und abzugeben, die der Sendeeinheit die Verwendung von Symbolen mit entsprechend angepasster Symboldauer, oder mit entsprechend angepasster Anzahl je Symbol übertragener Bits, oder mit entsprechend angepasster Symboldauer und entsprechend angepasster Anzahl je
20 Symbol übertragener Bits vorschreiben.

Ausführungsbeispiele des erfindungsgemäßen Senders sind in den Ansprüchen 46 bis 77 wiedergegeben. Die Vorteile des erfindungsgemäßen Senders und seiner Ausführungsformen folgen unmittelbar und eindeutig aus der vorstehenden Beschreibung der Verfahrensaspekte der Erfindung und der unterschiedlichen Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens.
25

Bei besonders bevorzugten Ausführungsbeispielen des erfindungsgemäßen Senders sind aussendbare Signale in einem Speicher abgelegt sind oder aus einer Schieberegisterstruktur ausgelesen werden können.

Alternativ oder zusätzlich ist in einer besonders bevorzugten Ausführungsform die Sendeeinheit des Senders ausgebildet, ein beliebiges auszusendendes Signal durch Ausführung eines oder mehrerer Algorithmen zu erzeugen, die in Form einer entsprechenden Schaltung oder in Form von Software implementiert sind. Die Sendeeinheit erzeugt das jeweils aktuell auszusendende Signal in Abhängigkeit von Steuersignalen der Steuereinheit. Auf diese Weise können beliebige Signalformen, beispielsweise Chirp-Signale oder BPSK-Signalfolgen erzeugt werden.

Vorzugsweise weist die Sendeeinheit einen Signal-Sequenzner und eine diesem nachgeschaltete IQ-Modulatoreinheit auf. Ein auszusendendes Signal wird nach seiner Erzeugung an den Signal-Sequenzner und anschließend an die IQ-Modulatoreinheit geleitet und dann direkt ins Trägerband konvertiert.

Weitere bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Senders haben eine programmierbaren Senderstruktur (Software Radio). Die Senderstruktur, insbesondere die Betriebsmodi des Senders sind vorzugsweise dynamisch veränderbar. Damit kann eine Vielzahl von Sendesymbolen erzeugt werden.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Senders hat eine Kanalschätzungseinheit, um die Kanaleigenschaften möglichst exakt zu bestimmen.

Gemäß einem weiteren Aspekt wird ein Empfänger zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bereitgestellt. Die Merkmale des erfindungsgemäßen Empfängers und seiner bevorzugten Ausführungsformen folgen unmittelbar und eindeutig aus der Beschreibung der Verfahrensaspekte und der dortigen Ausführungsbeispiele.

Vorzugsweise hat der Empfänger eine programmierbare Empfängerstruktur (Software Radio). Die Empfängerstruktur, insbesondere die Betriebsmodi des Empfängers sind in einer Ausführungsform dynamisch veränderbar.

Gemäß einem weiteren Aspekt wird ein Sende- und Empfangssystem zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens bereitgestellt. Die Merkmale der erfindungsgemäßen Sender-Empfänger-Vorrichtung und verschiedene Ausführungsformen sind in den Ansprüchen 78 bis 82 beschrieben. Ihre Vorteile folgen unmittelbar und eindeutig aus der vorstehenden Beschreibung der Verfahrensaspekte und der Beschreibung des erfindungsgemäßen Senders und des erfindungsgemäßen Empfängers.

Nachfolgend wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und unter Bezugnahme auf die Figuren näher erläutert. Es zeigen:

- | | | |
|----|----------|---|
| 10 | Figur 1 | ein Diagramm, das zur Erläuterung des Begriffs „Energie-Budget“ eines Senders anhand der Zusammenhänge zwischen den Größen der spektralen Sendeleistungsdichte, der Übertragungsfrequenz und der Zeit dient. |
| 15 | Figur 2 | ein Diagramm, in dem die Empfangsenergie E_{receive} als Funktion des Abstandes zwischen Sender und Empfänger bei einem Verfahren nach dem Stand der Technik aufgetragen ist. |
| 20 | Figur 3 | ein Diagramm, in dem zur Erläuterung eines Ausführungsbeispiels die Sendeleistung und die Empfangsleistung bei gleichbleibender Empfangsenergie als Funktion der Zeit für unterschiedliche Empfänger dargestellt ist. |
| | Figur 4 | eine schematische Zeichnung eines Wireless-Local-Loop zum Vergleich eines Powermanagement-Verfahrens und des Energie-Budget-Managements. |
| 25 | Figur 5 | eine weitere Darstellung zum Vergleich eines Powermanagement-Verfahrens und des Energie-Budget-Managements. |
| | Figur 6 | eine schematische Darstellung eines Datenrahmens in einem TDMA-Verfahren nach dem Stand der Technik. |
| | Figur 7 | eine schematische Darstellung eines Datenrahmens in einem TDMA-Verfahren mit Energie-Budget-Management. |
| 30 | Figur 8a | komprimierte Symbole mit unterschiedlicher Frequenzspreizung. |

Figur 8b eine Darstellung überlagerter zeitgespreizter Signale.

Figuren 9 bis 13 Blockdiagramme unterschiedlicher Ausführungsbeispiele von Sender-Empfänger-Strukturen.

In Figur 1 ist ein Diagramm dargestellt, dass in einer dreidimensionalen Darstellung Zusammenhänge zwischen den Größen Energiedichte ED, Übertragungsfrequenz f und Zeit t darstellt. An der in der Papierebene liegenden horizontalen Achse (x-Achse) ist die Zeit t aufgetragen, an der in der Papierebene liegenden vertikalen Achse (y-Achse) die Energiedichte ED. An der in der senkrecht zur Papierebene in die Tiefe weisenden Achse (z-Achse) ist die Übertragungsfrequenz f aufgetragen.

Unterhalb der Zeitachse ist die Dauer eines Datenrahmens durch die Länge eines mit T_{FRAME} gekennzeichneten Doppelpfeils zwischen zwei Zeitpunkten t_1 und t_3 dargestellt. Weiterhin sind Symbole 13 bis 16 als Abschnitte eines Quaders EB entlang der Zeitachse dargestellt. Die Symbole 13 bis 16 weisen unterschiedliche Symbolauern T_{symbol} auf. Für das Symbol 13 ist die Symboldauer T_{symbol} anhand eines Doppelpfeils zwischen den Zeitpunkten t_1 und t_2 dargestellt.

Eine auf einem Kanal verfügbare Bandbreite B zwischen zwei Grenzfrequenzen f_1 und f_2 ist durch die Länge eines parallel zur z-Achse angeordneten Doppelpfeils gekennzeichnet.

Während einer Symboldauer T_{symbol} kann auf einer Frequenz f maximal die spektrale Energiedichte:

$$ESD = ED_{\text{max}} \cdot T_{\text{symbol}} \quad (2)$$

übertragen werden. Ihr Wert ergibt sich in der Darstellung der Figur 1 für das Symbol 13 als der Flächeninhalt eines Rechteckes 10, das sich in einer durch die Frequenz bestimmten (ED,t) Ebene über die Zeitspanne T_{symbol} des Symbols 13 und die Energiespanne von 0 bis ED_{max} erstreckt. Die dreidimensiona-

le Darstellung beinhaltet damit die klassische Definition der spektralen Energiedichte.

Die vom Sender abstrahlbare Leistung P zu einem Zeitpunkt entspricht im Diagramm der Figur 1 einer (ED, f) -Ebene 12 des Quaders EB zu einem gegebenen Zeitpunkt t . Die dreidimensionale Darstellung beinhaltet damit die
5 klassische Definition der momentanen Leistung.

Die dargestellte Energiedichte kann beispielsweise mit einer Wigner-Ville Transformation bestimmt werden.

Die spektrale Energiedichte ist bei gegebener Frequenz f nach oben hin auf
10 einen Wert ESD begrenzt, beispielsweise aufgrund gesetzlicher Vorschriften. Ebenso ist die mittlere oder die maximale Sendeleistung aufgrund gesetzlicher Vorschriften beschränkt, oder aufgrund der technischen Möglichkeiten des Senders, die seine Sendeleistung auf einen Maximalwert limitiert. Die aufgrund einer solchen Begrenzung mögliche Energiedichte ist durch die Länge
15 eines parallel zur y -Achse angeordneten Doppelpfeils symbolisiert.

Aufgrund der Frequenzbandbreite B eines Übertragungskanals zwischen einer unteren Grenzfrequenz f_1 und einer oberen Grenzfrequenz f_2 entsteht in der Darstellung der Figur 1 ein Quader EB, dessen Erstreckung entlang der Frequenzachse gleich der Bandbreite B des Übertragungskanals ist.

20 Der Quader EB kennzeichnet das dem Sender auf einem Kanal der Bandbreite B in der Zeitspanne T_{FRAME} zur Verfügung stehende limitierte Energie-Budget des Senders.

Fundamental ist in diesem Zusammenhang noch die Relation zwischen Bandbreite und Symboldauer. Dass die maximale Bandbreite durch kurze Symbole ausgeschöpft wird, ist bekannt. Speziell gilt zum Beispiel für rechteckförmige
25 Spektren, dass die Bandbreite durch si-Funktionen voll ausgefüllt wird. Dies

folgt aus dem Zusammenhang zwischen si-Funktionen und Rechteckfunktionen über die Fouriertransformation:

$$si\left(\pi \cdot \frac{t}{T}\right) \circ - \bullet T \cdot rect\left(\frac{\omega}{2\pi/T}\right) \text{ Fourier - Transformierte}$$
$$\text{mit } si(x) = \sin(x)/x \quad \text{und} \quad rect(x) = \begin{cases} 1 & \text{für } |x| \leq 1/2 \\ 0 & \text{für } |x| > 1/2 \end{cases} \quad (3)$$

5 Damit ergibt sich im Basisband die einfache Beziehung zwischen Pulsdauer und Grenzfrequenz:

$$f_g = \frac{1}{2T} \quad (4)$$

wobei die Pulsdauer T den minimalen Abstand zwischen zwei Symbolen bezeichnet, der ohne Intersymbolinterferenzen möglich ist.

10 In aller Regel wird für die Übertragung zusätzlich eine Trägerfrequenz verwendet, so dass die übertragene Bandbreite B dem doppelten Betrag einer Grenzfrequenz f_g im Basisband entspricht ($B=2f_g$).

15 Die in Figur 1 eingezeichneten Quaderabschnitte 13 bis 16 symbolisieren die für die Übertragung des jeweiligen Symbols vom Sender genutzten Anteile des Energie-Budgets während der Rahmendauer T_{FRAME} . Es ist zu erkennen, dass die Symboldauer des zweiten Symbols 14 kleiner ist als die des ersten Symbols 13. Entsprechend ist die Sendeenergie des zweiten Symbols 14 kleiner als die des ersten Symbols 13.

Aus dem Modell der Figur 1 lassen sich die folgenden Erkenntnisse ableiten:

a) Die einem Netzbetreiber zur Disposition stehenden Kanalressourcen sind beispielsweise Bandbreite, maximale Sendeleistung und Zeit. Der Quader EB der Figur 1 entspricht dem einem Betreiber des Senders auf allen von ihm nutzbaren Frequenzen eines Kanals zur Verfügung stehenden Energiebudget während eines Rahmens. Dies bedeutet jedoch nicht, dass die Rahmendauer T_{FRAME} fest ist. Auch sie kann durch das Energie-Budget-Managements verändert werden.

b) Ein wirtschaftlicher Betrieb eines Senders erfordert die volle Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Energiebudgets. Die maximale Sendeleistung und die zur Verfügung stehende Bandbreite sollten über die gesamte Zeitspanne des Sendebetriebs stets genutzt werden, um die zur Verfügung stehenden Ressourcen optimal zu nutzen.

c) Eine flexible Anpassung an veränderliche Übertragungsbedingungen zwischen einem Sender und den ihm zugeordneten aktiven Empfängern wird durch ein Management des dem Sender in einer Zeitspanne zur Verfügung stehenden Energie-Budgets erzielt. Die wesentliche physikalische Größe für die erfolgreiche Informationsübertragung vom Sender zu einem jeweiligen Empfänger ist nicht die Sendeleistung, sondern ein ausreichend hoher Betrag der Bit-bezogenen Empfangsenergie. Ein wesentliches Merkmal der erfindungsgemäßen Verfahren ist daher das Bit-Dauer-Management bei vorgegebener Sendeleistung in Form einer empfängerspezifischen Anpassung der Bit-bezogenen Sendeenergie über eine Variation der Bit-bezogenen Dauer eines Symbols. Diese Erkenntnisse werden nachfolgend näher erläutert.

Zu a) Kanalkapazität und Energie-Budget

Ein zur Verfügung stehender Übertragungskanal kann theoretisch nach Shannon optimal genutzt werden, indem pro Zeiteinheit die Datenmenge:

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad [\text{bit/s}] \quad (5)$$

angegeben in Bit pro Sekunde, fehlerfrei übertragen wird. Dabei bezeichnet B die Bandbreite des Kanals, und S/N das Verhältnis zwischen emp-
fängerseitiger Signalleistung und Rauschleistung. Die Rauschleistung ist
5 die Summe aus dem empfängerseitigen thermischen Rauschen sowie von
Störungen, die durch menschliche oder industrielle Einflüsse auftreten
(human made noise, industrial noise). Die Größe C wird als Kanalkapazi-
tät bezeichnet.

Es lassen sich an der oben angegebenen Shannon-Formel (5) für ein
wirtschaftliches Kanalmanagement fundamentale Eigenschaften ablesen.

10 Die Kapazität eines Übertragungskanals zwischen einem Sender und ei-
nem Empfänger hängt wesentlich ab vom Verhältnis der empfangenen
Signalleistung S zur vorhandenen Rauschleistung N im Empfänger, kurz
bezeichnet als S/N . Offensichtlich ist damit die Kanalkapazität keine feste
Größe, die für eine Zelle oder ein lokales Netzwerk konstant ist, sondern
15 eine dynamische Größe, die je nach Qualität des Übertragungskanals von
Empfänger zu Empfänger und im Zeitverlauf starken Veränderungen un-
terworfen sein kann.

Zu b) Ausnutzung der Kanalkapazität

20 Die Kanalkapazität nach Shannon gemäß Gleichung (5) ist aufgrund vor-
gegebener Beschränkungen im Übertragungskanal stets limitiert. In ande-
ren Worten: Die Kanalkapazität zu einem gegebenen Zeitpunkt ist eine
begrenzte Ressource und ist das eigentliche wirtschaftliche Gut, dass ein
Netzbetreiber durch den Aufbau eines Kommunikationsnetzwerkes
erwirbt, sei es eines kabelgebundenen oder eines drahtlosen Kommunika-
tionsnetzwerkes. Die dazu notwendigen Investitionen erfordern es, die
25 angebotene Kanalkapazität optimal zu nutzen, um damit wirtschaftlich ar-
beiten zu können.

Die volle Ausnutzung der vorhandenen Kapazität eines Übertragungskanalns ist nur dann möglich, wenn die vorgegebene Sendeleistung, vorzugsweise die maximal zulässige Sendeleistung auf dem Kanal abgestrahlt wird.

5 Zu c) Energie-Budget-Management

10 In der obigen Formel von Shannon wird die maximale Datenrate angegeben, die fehlerfrei übertragen werden kann. In der Praxis treten Übertragungsfehler auf. In diesem Zusammenhang ist die Bitfehlerrate (Bit Error Rate, BER) eine fundamentale nachrichtentechnische Größe. Übertragungsfehler müssen durch entsprechende Maßnahmen korrigiert werden. Dies erfolgt beispielsweise, indem senderseitig in den zu übertragenden Datenstrom Redundanz eingefügt wird. Auf diese Weise können Fehler erkannt werden.

15 Die Bitfehlerrate hängt in entscheidendem Maße von der gewählten Modulation ab. Allgemein lässt sich bei allen Modulationsarten ein Zusammenhang zwischen Bitfehlerrate und dem Verhältnis der übertragenen Symbolenergie E_s zur Rauschleistungsdichte N_0 ableiten.

20 Es ist daher wesentlich, dass der Sender zur erfolgreichen Übertragung von Information dem Empfänger pro Symbol oder Bit eine auf die Rauschleistungsdichte bezogene Mindestenergie zur Erkennung des Symbols bereit stellt. Die erforderliche Mindestenergie ist abhängig von der aktuellen Rauschleistungsdichte und von der dem Empfänger zugeordneten BER, die ihm beispielsweise aufgrund einer vertraglich vereinbarten Übertragungsqualität bereit gestellt wird. Weiterhin ist die erforderliche Mindestenergie abhängig von der Entfernung zwischen Sender und Empfänger.

25

Zur Verdeutlichung der aus dem Modell der Figur 1 erfindungsgemäß gezogenen Konsequenzen werden nachfolgend drei Beispielfälle erläutert:

a) Geringe Dämpfung

Betrachtet wird zunächst ein günstiger Fall, bei dem die Dämpfung zwischen Sender und Empfänger relativ klein ist. In diesem Fall steht dem entsprechenden Nutzer eine sehr große Kanalkapazität zur Verfügung. Es werden stets die kürzestmöglichen Symbole gesendet, die bezogen auf die vorhandene Bandbreite realisierbar sind, so dass die Sendeenergie pro Symbol bei gleichzeitiger maximaler Sendeleistung den minimalen Wert annimmt. Optional wird zusätzlich eine der Empfangsqualität entsprechende höherstufige Modulation angewendet, damit die am Empfänger zur Verfügung stehende Energie maximal genutzt wird.

Die optimale Symbolenergie wird für diesen Fall beispielsweise dadurch bestimmt, dass die BER für verschiedenen Modulationsarten betrachtet wird, und diejenige Modulationsart ausgewählt wird, mit der gerade noch die erforderliche Qualität der Übertragung sichergestellt ist. Gleichzeitig wird hierdurch diejenige höherstufige Modulation ausgewählt, mit der die Daten möglichst schnell übertragen werden können, so dass die angesprochene Kanalkapazität optimal genutzt wird. Die Symboldauer wird dabei nicht mehr verändert, da diese bereits auf den minimalen Wert reduziert ist, der dem Kehrwert der Bandbreite entspricht.

Durch die Bereitstellung dieser hohen Kanalkapazität kann die angeforderte Datenmenge sehr schnell übertragen werden, so dass nachfolgend der physikalische Kanal einem oder mehreren Nutzern durch Anwendung geeigneter Multiplexing-Verfahren zur Verfügung steht. Günstig in diesem Zusammenhang ist beispielsweise ein TDMA-Verfahren, damit sich der entstehende Managementaufwand in Grenzen hält.

b) Hohe Dämpfung

In einem anderen, hier als „worst case“ bezeichneten Fall ist ein Nutzer vorhanden, dessen physikalischer Übertragungskanal eine sehr große

Dämpfung aufweist, sei es durch eine große Entfernung oder durch „Fading“-Löcher, die durch Mehrwegeausbreitungen entstehen. In diesem Fall ist die für den Empfänger verfügbare Kanalkapazität sehr klein und die gesendete Symbolenergie muss sehr groß sein, d.h., es werden sehr
5 lange Symbole ausgesendet.

Die optimale Symbolenergie ist für diesen Fall dadurch bestimmt, dass nur noch die einfachste zur Verfügung stehende Modulation betrachtet wird. Für diese ist die minimale zu empfangende Energie, mit beispielsweise die geforderte BER eingehalten wird, fest vorgegeben, so dass die Symboldauer dynamisch im Sender verändert werden muss, um beim Empfänger immer die teilnehmerbezogene Symbolenergie zu erzeugen.
10

In diesem Fall sind die Symbole deutlich länger als die durch die Bandbreite vorgegebene kürzeste Symboldauer. Die optimale Nutzung der Kanalkapazität ist daher noch einmal konkreter zu betrachten, da dort neben dem S/N [W/W] auch die Bandbreite des Kanals eingeht.
15

Ist die Bandbreite des verwendeten Symbols kleiner als die vorgegebene, kann die maximale Kanalkapazität nicht genutzt werden und es müssen weitere zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden. Solche Maßnahmen werden nun erläutert:

20 Lange Symbole bedeuten nicht zwangsläufig geringe Bandbreite, dies zeigen Chirpsignale, wie in der DE 199 37 706 gezeigt wird. Die langen Symbole können in diesem Fall durch Chirpsignale ersetzt werden, die die gleiche Dauer aufweisen. In diesem Fall ist das Produkt aus Zeitdauer und Sendeleistung für beide Pulsformen identisch, d.h. die Energie ist gleich.
25 Die Chirpsignale bewirken jedoch eine Frequenzmodulation (die im einfachsten Fall linear verläuft, im allgemeinen jedoch beliebige, monoton steigende Funktionsverläufe annehmen kann), die sich über die gesamte vorgegebene Bandbreite erstrecken kann. Auf diese Weise werden die

Signale in der Frequenz gespreizt. Dieser Fall wird weiter unten noch ausführlicher betrachtet.

Außerdem ist es möglich, die Symbole in der Frequenz zu spreizen, indem sie mit einer Pseudo-Noise-Sequenz zusätzlich moduliert werden.

5 Diese Modulation muss natürlich dem Empfänger bekannt sein und ebenfalls dynamisch der gewählten Symboldauer angepasst werden.

In einer speziellen Variante des Energie-Budget-Managements kann eine lange Pseudo-Noise-Sequenz, beispielsweise eine m-Sequenz, vorgegeben werden, deren Chipdauer die gegebene Bandbreite widerspiegelt.

10 Bei maximaler Bandbreite sind dann die verschiedenen Symboldauern in diskreten Stufen (ganzzahligen Vielfachen der Chips) realisierbar, indem von der vorgegebenen Sequenz immer ein Teilstück verwendet wird.

Die in dem gespreizten Symbol enthaltene Energie kann nur dann optimal genutzt werden, wenn entsprechende Korrelationsempfänger verwendet werden, z.B. indem ein entsprechendes „matched Filter“ im Empfänger vorhanden ist, dass dynamisch angepasst werden muss.

15

Alternativ ist es bei den langen Symbolen auch möglich, ein FDMA zu überlagern, so dass die vorhandene Bandbreite geteilt wird und der angesprochene Nutzer nur einen kleinen Teil der Bandbreite zugewiesen bekommt, der mit der Länge des jeweiligen Datensymbols korrespondiert. Es könnten dann zwei oder mehr FDMA-Kanäle parallel betrieben werden.

20

In einer speziellen Ausführung kann ein Uplink- und ein Downlink-Kanal als Frequency-Division-Duplex (FDD) realisiert werden, die zeitlich parallel betrieben werden.

25

Dabei ist die bereits erläuterte Dynamik des Senders von entscheidender Bedeutung. In dem angesprochenen FDMA könnten nun beispielsweise zwei Kanäle parallel betrieben werden, wobei einer dem ersten Fall mit

hoher empfangener Energie entspricht und der zweite dem betrachteten „worst case“. Die optimalen Symbole unterscheiden sich daher erheblich in den beiden Kanälen.

c) Gestörte Kanäle

- 5 Als abschließendes Beispiel werden Kanäle betrachtet, die unter einer sehr starken Mehrwegeausbreitung und/oder zusätzlichen Störsignalen leiden. In diesem Fall hängt die Qualität des empfangenen Signals in entscheidendem Maße von der gewählten Spreizung des Signals ab. In das Energie-Budget-Management fließt diese Größe direkt ein, da immer die
10 maximale Bandbreite genutzt werden kann, so dass mit zunehmender Zeitdauer der Impulse die Spreizung und gleichzeitig die Symbolenergie steigt.

- Entscheidend für die optimale Nutzung der Kanalressource ist nicht, dass auch der „worst case“ eingehalten wird, sondern dass im „best case“ die ma-
15 ximal mögliche Datenrate übertragen wird und damit die Eigenschaften des Kanals optimal genutzt werden können. Damit ist es möglich, die Kanalkapazität des Netzes deutlich zu steigern, wie weiter unten näher erläutert wird.

- Die vorstehenden Beispiele zeigen: Das Energie-Budget-Management geht vorzugsweise einher mit einer mehrdimensionalen Optimierung aller physikali-
20 schen Größen, die die Kanalressourcen definieren, die Zeitachse, die Frequenzachse und die maximale Sendeleistung.

- Eine typische nachrichtentechnische Anwendung und ihre Umsetzung gemäß dem Stand der Technik wird nachfolgend anhand von Figur 2 etwas detaillierter beschrieben, um die physikalischen Randbedingungen im Übertragungs-
25 kanal zu veranschaulichen und die erfindungsgemäßen Konsequenzen zu erläutern.

In drahtlosen Übertragungsverfahren tritt der Fall auf, dass die empfangene Energie pro Symbol für Freiraumausbreitung annähernd quadratisch mit der Entfernung abnimmt. Als vereinfachende Annahme wird in diesem Beispiel vorausgesetzt, dass nur eine Modulationsart verwendet wird und keine höherstufigen Modulationen verwendet werden. Des Weiteren wird angenommen, dass die Symbole immer mit der gleichen Dauer T_{ref} und der gleichen Sendeleistung P_{send} für jeden Teilnehmer abgestrahlt werden.

Figur 2 zeigt nun ein Diagramm, in dem die Empfangsenergie E_{receive} als Funktion des Abstandes r zwischen einem Sender und Empfänger eines drahtlosen Datenübertragungsnetzwerkes aufgetragen ist. Auf der Abszisse ist der Abstand r aufgetragen, auf der Ordinate die Empfangsenergie E_{receive} . Die funktionelle Abhängigkeit zwischen der Empfangsenergie und dem Abstand r zwischen Sender und Empfänger ist :

$$E_{\text{receive}} \sim \frac{1}{r^2} \quad (6)$$

Diese Beziehung ist im Diagramm der Figur 2 durch eine Kurve 20 wiedergegeben.

Parallel zur Abszisse ist eine Rauschleistungsdichte in Form einer gestrichelten Linie 22 eingezeichnet. Parallel zur Abszisse ist ebenfalls eine durchgezogene Linie 24 eingezeichnet, die den Betrag der für die Erzielung einer empfangerspezifischen Bitfehlerrate BER erforderliche Mindestsymbolenergie E_{min} kennzeichnet, die durch die verwendete Modulationsart vorgegeben ist. Die konstante Symboldauer T_{ref} ist als Breite eines Balkens 26 parallel zu einer zweiten horizontalen Achse 27, einer Zeitachse, dargestellt.

In diesem einfachen Modellsystem nach dem Stand der Technik gibt es genau eine Entfernung r_{ref} zwischen Sender und Empfänger, bei der die Empfangsenergie E_{receive} genau dem zur Erkennung erforderlichen Mindestwert E_{min} ent-

spricht. Ein Balken 29 zeigt die minimale Empfangsenergie E_{\min} , die beim Abstand r_{ref} zwischen Sender und Empfänger innerhalb der Zelle noch zum korrekten Empfang führt.

5 Wird das Netzwerk nun anhand dieses „worst case“ dimensioniert, d.h. bezogen auf die Sendeleistung und das Linkbudget eine maximale Symboldauer bestimmt, die multipliziert mit der maximalen Sendeleistung die maximale Sendeenergie ergibt, so ist bei allen näher liegenden Nutzern die empfangene Energie und damit die Symboldauer zu groß. Empfänger, die in geringerem Abstand zum Sender angeordnet sind als r_{ref} , erhalten mehr Energie als erforderlich. Empfänger, die in größerer Entfernung zum Sender sind als r_{ref} , empfangen eine Energie, der zur Erkennung von Symbolen mit der vorgegebenen BER nicht ausreicht.

15 Aus Sicht des Senders ist für $r < r_{\text{ref}}$ der Empfangsenergiebereich 28 zwischen der Geraden 24 (E_{\min}) und der abstandsabhängigen Kurve 20 überschüssige, verschwendete Energie. Denn diese Energie wird empfängerseitig zur Erkennung mit der vorgegebenen BER nicht benötigt. Andererseits ist im Abstandsbereich $r > r_{\text{ref}}$ der Empfangsenergiebereich 30 zwischen der Geraden E_{\min} und der abstandsabhängigen Kurve 20 fehlende Energie zur empfängerseitigen Erkennung mit der vorgegebenen BER bei der gegebenen Rauschleistungsdichte.

20 Durch ein Powermanagement-Verfahren gemäß dem Stand der Technik könnte nun für die näher liegenden Empfänger die Sendeleistung herunterregelt werden. Doch dies bedeutet, dass die Kanalressource Sendeleistung nicht voll genutzt wird.

25 In einem Ausführungsbeispiel des Energie-Budget-Managements (EBM) wird die Symboldauer bei maximaler Sendeleistung variiert und damit die Energie des gesendeten Symbols den Erfordernissen des Kanals angepasst, ohne die Sendeleistung zu reduzieren. Das Energie-Budget wird somit aufgeteilt, indem jedem Teilnehmer bei voller Sendeleistung jeweils teilnehmerspezifische

Symbol dauern und damit Energie-Pakete zugesendet werden. Für jeden Nutzer wird auf diese Weise die optimale Symboldauer in Abhängigkeit von der empfangenen Leistung so berechnet, dass nur diejenige Symbol-Energie im Sender aufgebracht wird, die zum Empfang mit einer dem Empfänger vorgegebenen Fehl-Erkennungsrate (Error rate) erforderlich ist. In Figur 2 ist dies durch E_{\min} gekennzeichnet. Die dadurch eingesparte Sendeenergie nutzt der Sender gemäß dem Energie-Budget-Management beispielsweise im Rahmen eines TDMA-Verfahrens zur Anpassung der Symbolenergie für solche Empfänger, die aktuell schlechtere Empfangsbedingungen haben, oder zur Bedienung weiterer Übertragungen zu Empfängern im Nahbereich. Auf diese Weise kann die Reichweite des Senders durch das Management des Energiebudgets erhöht werden.

Auf der einen Seite werden damit Ressourcen besser genutzt, die auf der anderen zusätzlich zur Verfügung stehen, um Teilnehmer zu versorgen, die bei Verfahren nach dem Stand der Technik knapp außerhalb der Zelle lägen und von der Basisstation nicht mehr erreicht werden könnten.

Die Variation der Symboldauer ist nach unten beschränkt. Die kürzeste Symboldauer entspricht der maximalen Bandbreite, die als zusätzliche Größe den Übertragungskanal beschränkt.

Figur 3 zeigt die Konsequenzen des erfindungsgemäßen Verfahrens in einem Balken-Diagramm, in dem die Sende- und Empfangsleistung über einer Zeitachse für verschiedene Beispiele aufgetragen sind. Im Vordergrund ist die jeweilige Empfangsenergie dargestellt, beispielsweise durch die zum Betrachter weisende Frontfläche 42 eines Quaders 44 mit einer durch seine Höhe längs der y-Achse bestimmten Empfangsleistung und einer durch seine Breite längs der x-Achse bestimmten Symboldauer. Im Hintergrund ist die dem jeweiligen Balken der Empfangsleistung korrespondierende Sendeenergie dargestellt, beispielsweise als Frontfläche 46 eines schraffierten Balken 48. Die einander zugehörigen Sendeleistungs- und Empfangsleistungsbalken weisen natürlich dieselbe Symboldauer auf, dargestellt als gleiche Erstreckung längs

der Zeitachse. Die Balken unterscheiden sich jedoch in der Höhererstreckung: die Empfangsleistung ist stets geringer als die zugehörige Sendeleistung.

Die entlang der Zeitachse nebeneinander dargestellten unterschiedlichen Balken entsprechen beispielsweise verschiedenen Empfängern mit in Richtung
5 der Zeitachse zunehmendem Abstand vom Sender oder Empfängern mit unterschiedlicher zugeteilter Datenrate. Es wird eine allen dargestellten Beispielen gemeinsame, allein abstandsabhängige Dämpfung angenommen. Als weitere Randbedingung soll allen Empfängern dieselbe BER zur Verfügung gestellt werden. Um dies zu ermöglichen muss die Empfangsenergie stets den Betrag E_{\min} erreichen. Alle im Vordergrund angeordneten Quader, die die Empfangsleistung als Funktion der Zeit darstellen, haben demnach in Figur 3 denselben Flächeninhalt der Frontflächen. Hierfür werden Empfängern, die
10 das Symbol mit geringerer Leistung empfangen, also einen größeren Abstand vom Sender haben, die Symbole mit einer entsprechend längeren Symboldauer übermittelt.

Die dritte Koordinate, die Tiefe der Balken, repräsentiert dabei die verwendete Bandbreite, die für den Kanal als zusätzliche Größe vorgegeben ist. Diese ist hier konstant dargestellt, da auch bei variabler Zeitdauer der Symbole immer
20 eine entsprechende Spreizung gefunden werden kann, so dass hierdurch die volle Bandbreite genutzt wird.

Im erfindungsgemäßen Verfahren werden, wie in Figur 3 gezeigt, die gesendeten Datensymbole dynamisch in der Energie angepasst, indem ihre zeitliche Dauer angepasst wird. Dabei wird der Sender hier so betrieben, dass er stets
25 auf einem jeweiligen Kanal das zulässige Maximum der Sendeleistung abstrahlt, wie durch für alle Beispiele der Figur 3 gleiche Sendeleistung gezeigt ist. Die Symbole werden dynamisch in Ihrer Bit-bezogenen Dauer angepasst, um einem betreffenden Empfänger in Abhängigkeit vom aktuellen Zustand des Übertragungskanals gleich bleibende Empfangsqualität, das heißt, gleiche
30 Empfangsenergie E_{\min} zu bieten.

Dabei kann im Sinne der Erfindung bei gleicher Symboldauer zusätzlich eine höhere oder geringere Modulationsstufe gewählt werden, so dass mit einem Symbol eine höhere oder geringere Anzahl Bits übertragen wird. Die gezeichnete minimale Energie ist dabei von der jeweiligen Modulationsart abhängig.

- 5 Ein Ausführungsbeispiel für das oben beschriebene Energie-Budget-Management, soll nun unter weiterer Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 3 detaillierter beschrieben werden, dazu werden die wesentlichen Aspekte noch einmal aufgeführt.

- 10 In drahtlosen Übertragungsverfahren tritt der Fall auf, dass die empfangene Energie pro Symbol für Freiraumausbreitung annähernd quadratisch mit der Entfernung abnimmt. Die minimale Energie, die für den sicheren Empfang der Symbole notwendig ist, hängt dagegen nur von der gewählten Modulation ab und ist daher konstant. Bei vorgegebener maximaler Sendeleistung ist damit der maximale Zellradius durch den Abstand r_{ref} in Figur 2 bestimmt.

- 15 Wird ein Netzwerk anhand dieses „worst case“ dimensioniert, d.h. bezogen auf die Sendeleistung und das Linkbudget eine maximale Symboldauer bestimmt, die multipliziert mit der maximalen Sendeleistung die maximale Sendeenergie ergibt, so ist bei allen näher liegenden Nutzern die empfangene Energie und damit die Symboldauer zu groß.

- 20 Bei Verwendung eines Powermanagement könnte in diesem Fall die Sendeleistung heruntergeregelt werden, so dass der Sender einen der Situation angepassten Zustand annimmt. Doch dies bedeutet, dass die Kanalressource Sendeleistung nicht voll genutzt wird. In diesem Fall kann das Energie-Budget-Management vorteilhaft angewendet werden, indem die Symboldauer verkürzt wird. Damit wird eine deutlich höhere Datenrate realisiert und die Kanalbelegungsdauer reduziert. Dies ermöglicht beispielsweise die Durchführung eines TDMA-Verfahrens.
- 25

Für jeden Nutzer wird die optimale Symboldauer berechnet. Bei einem bevorzugten Ausführungsbeispiel wird die Symboldauer T_{symbol} senderseitig entsprechend der Formel (1) bestimmt.

5 Diese dynamische Steuerung der Symboldauer in Abhängigkeit von der Empfangsqualität ist prinzipiell in jedem System möglich.

Entscheidend ist jedoch die Frage nach der optimalen Nutzung der Bandbreite, da mit der dynamischen Symboldauer in der Regel gleichzeitig auch die Bandbreite des Symbols verändert wird. Zum einen kann die jeweilige Bandbreite dynamisch geregelt werden, indem ein FDMA implementiert wird, bei
10 dem die Bandbreite dynamisch nach den Anforderungen aufgeteilt wird. Die Realisierung eines solchen Verfahrens in Hardware ist sehr aufwendig und kompliziert. In einem "Software-radio" ist eine derartige dynamische Trennung dagegen realisierbar .

Des weiteren ist es möglich, bezogen auf die Bandbreite das kürzeste Symbol
15 zu definieren (Chip), und durch eine Aneinanderreihung mehrerer dieser Chips die Datensymbole zu formen, indem bestimmte Sequenzen die Symbole repräsentieren. Das Energie-Budget-Management wird dann mit einer Frequenzspreizung kombiniert. In diesem Fall ist die dynamische Veränderung der Symboldauer durch die verwendeten Chips quantisiert.

20 Im Besonderen eignen sich jedoch Chirpsignale für diese Anwendung, bei diesen kann zwischen der Frequenzspreizung und einer Zeitspreizung unterschieden werden, siehe DE 199 37 706. Dabei erfolgt die Frequenzspreizung, indem die bezogen auf die Bandbreite kürzesten Impulse erzeugt werden und anschließend diese Impulse in der Zeitspreizung auf eine beliebige Dauer
25 ausgedehnt werden. Diese Ausdehnung der Impulse kann dann dynamisch nach der erforderlichen Energie erfolgen.

Hohe Datenraten werden mit diesem Verfahren erzielt, indem die einzelnen Chirpsignale sich zeitlich gegenseitig überlagern. Die maximale Sendeleis-

tung, die ein Nutzer verwenden kann, wird daher aufgeteilt, so dass jedes Chirpsignal nur einen Bruchteil erhält, je nach dem Grad der Überlagerungen.

Dies ist möglich, da die Symbole im Empfänger auf kurze Impulse komprimiert werden, deren Maximum in den Nullstellen der anderen Impulse liegt. Diese
5 si-förmigen Impulse spiegeln natürlich die verwendete Bandbreite wider.

Auch hier kann eine quantisierte Erhöhung der Symbolenergie erfolgen, indem immer weniger Symbole sich wechselseitig überlagern und damit die Leistung des einzelnen Symbols schrittweise erhöht wird, solange, bis keine Überlap-
10 pung der Symbole mehr erfolgt. Die Folge hiervon ist, dass die komprimierten Impulse einen immer größeren Abstand zueinander aufweisen und mehrere Nullstellen leer bleiben.

Die dynamische Zuweisung der Symboldauer ist nach unten beschränkt durch die Bandbreite. Damit wird der kürzeste Impuls vorgegeben, der in der Modu-
15 lation verwendet werden kann. Auf der anderen Seite besteht jedoch keine Beschränkung, d.h. die Symbole können auch extrem lang sein.

Dies soll unter nochmaliger Bezugnahme auf Figur 2 erläutert werden. Die heute üblichen Zellgrößen sind durch den Punkt r_{ref} beschrieben, bei dem die Signale gerade noch empfangen werden können. Jenseits dieses Punktes ist
20 in den klassischen Systemen kein Empfang mehr möglich. Für einen Nutzer, der nur wenig außerhalb der Zelle liegt, ist damit eine neue Zelle einzurichten. Dies kann speziell bei Wireless Local Loop (WLL)-Anordnungen sehr hohe Kosten verursachen.

Mit Hilfe des hier beschriebenen Energie-Budget-Managements durch eine Energiemodulation ist es möglich, auch diesen Nutzer noch von der gleichen
25 Basisstation aus zu versorgen, indem die Symbole noch länger werden und damit mehr Energie tragen. Auf diese Weise erfolgt eine dynamische Ausdehnung der Zelle in einzelne Richtungen, an denen sich Nutzer befinden. Dies ist

eine Besonderheit, die sich in anderen Kanalmanagement-Verfahren nicht findet.

Die Erzeugung langer Symbole in einem Sender bereitet oft keine Schwierigkeiten. Im Empfänger dagegen kann es große Probleme bereiten, lange Symbole mit geringer Bandbreite zu empfangen, insbesondere wenn ein FDMA
5 verwendet wird und die Frequenz genau getroffen werden muss.

In der Regel ist es hier günstiger, die Symbole zu spreizen und einen Korrelationsempfänger zu verwenden. Dies gilt gleichermaßen für CDMA Sequenzen wie auch für Chirpsignale.

10 Auch diese Empfängertypen entsprechen im Grunde dem klassischen „Matched Filter“, das zur optimalen Übertragung verwendet wird.

Aufgrund der dynamischen Energiemodulation und damit Symboldauer-Variation muss dieses Filter ebenfalls dynamisch angepasst werden. In einer Realisierung als „Software radio“ ist auch dieses möglich.

15 Wesentlich für die Anwendung der Energiemodulation ist noch die Unterscheidung von Basisstationen und Subscribern. Beschränkt sind für den Nachrichtenkanal in der Regel die Bandbreite und die Leistung. Für den Subscriber ist es daher möglich, die Datensymbole mit voller Leistung auszusenden und mit der entsprechenden Energiemodulation die optimale Symbol-
20 länge zu erzeugen. Das hierfür notwendige Frequenzband muss vorher von der Basisstation freigegeben werden, so dass sich die Nutzer untereinander nicht stören.

Im umgekehrten Fall ist dies nicht so leicht möglich, da die Aufspaltung des Kanals in einzelne Frequenzbänder gleichzeitig auch eine Aufteilung der maximalen Sendeleistung bedeutet, da die Summe aller Sendeleistungen über
25 der Frequenz die maximal zulässige Leistung nicht überschreiten darf. Aufgrund der bekannten eindeutigen Verknüpfungen zwischen Sendeleistung,

Symboldauer und Bandbreite ist es möglich, die optimale Energiemodulation dynamisch in jedem Netzwerk zu berechnen und so eine maximale Kanalkapazität in einem Netzwerk zu realisieren.

Nachfolgend wird die Bestimmung der Stellgrößen erläutert. Das Energie-
5 Budget-Management basiert - wie oben näher erläutert - darauf, dass emp-
fängerspezifisch die Sendeenergie angepasst wird, beispielsweise bei einer
Basisstation oder einem Access-Point. Dementsprechend wird beispielsweise
bei guten Übertragungsverhältnissen eine höherstufige Modulation, bei
schlechten eine Erhöhung der Symboldauer vorgenommen.

10 Damit dieses Verfahren automatisch gesteuert werden kann, müssen die not-
wendigen Regelgrößen ermittelt und zwischen Sender und Empfänger eine
effiziente Modulation vereinbart werden. Dazu gibt es prinzipiell verschiedene
Wege. Alle heute üblichen Verfahren des Powermanagements können für das
Energie-Budget-Management übernommen werden, da bei diesen die Leis-
15 tung am Empfänger ermittelt wird und damit die empfangene Energie für das
entsprechende Symbol bekannt ist und daraus eine Extrapolation für alle an-
deren verfügbaren Symbole möglich ist. Zwei Prinzipien werden hier exempla-
risch aufgeführt.

Durch eine einfache RSSI-Messung (radio signal strength indicator) im Emp-
20 fänger kann die empfangene Leistung direkt gemessen werden. Damit ist die
Empfangsqualität bekannt und es kann zwischen Basisstation und Subscriber
die optimale Modulation und/oder Symboldauer und/oder Spreizung abge-
stimmt werden. In der Regel sind dabei die Werte von Basisstation und Sub-
scriber unterschiedlich, da an den verschiedenen Orten unterschiedliche Stö-
25 rungen auftreten können.

Zweitens kann die Qualität der Übertragung auch durch eine Messung der
Fehler innerhalb eines Rahmens bestimmt werden, wenn z.B. ein Fehlerer-
kennender-Code angewendet wird. Die Modulation und/oder Symboldauer

und/oder Spreizung kann dann schrittweise verändert werden, bis die optimale Übertragungseffizienz erreicht ist.

Die Regelung kann in einer bestehenden Verbindung oder einem laufenden Datenverkehr kontinuierlich nachgeregelt werden, ohne dass die Übertragung
5 abreist.

Schwieriger ist es dagegen, in einem zellularen Netzwerk eine Verbindung aufzubauen. Hier sendet ein Teilnehmer im Access-Kanal eine Anfrage zur Basisstation. Diese kann ggf. von der Basisstation nicht empfangen werden, da die verwendete Modulation nicht bekannt ist.

10 Auch hier gibt es verschiedene Lösungen. Zunächst ist es immer möglich die physikalisch robusteste Verbindung zu verwenden, die bei einem richtig dimensionierten Netz immer funktionieren muss. Damit ist aber eine Vergeudung von Ressourcen verbunden.

Eine weitere Möglichkeit ist es, in der Basisstation mehrere Empfänger aufzu-
15 bauen, so dass im Access-Kanal verschiedene Modulationsarten zugelassen sind, und der jeweilige Subscriber mit der zuletzt verwendeten Modulation die Übertragung startet. Im parallelen Empfang ist dann immer einer auf die gesendete Modulation abgestimmt.

Allgemein ist auch eine wiederholte Abfrage des Access-Kanals möglich, wo-
20 bei die denkbaren Modulationsarten und/oder Symbol Dauern und/oder Spreizungen systematisch geprüft werden. Hier sind effiziente Algorithmen denkbar, wie Sie heute schon in Systemen angewendet werden, die verschiedene Trägerfrequenzen zur Datenkommunikation nutzen.

Die gleiche Problematik tritt bei CDMA-Systemen auf, bei denen jedem Nutzer
25 ein spezieller Spreizcode dynamisch zugewiesen werden muss, bevor die eigentliche Verbindung (Verkehrskanal) bereit steht.

Ebenso ist es im Energie-Budget-Management möglich, die optimalen Symbole zu bestimmen, die für die Übertragung verwendet werden sollen, bevor diese im eigentlichen Verkehrskanal angewendet werden.

5 Dabei ist es auch möglich, dass sich die gesendeten von den empfangenen Symbolen unterscheiden, da die Verluste und Störungen in dem Kanal zwischen Up- und Downlink unterschiedlich sein können.

Figur 4a) zeigt in einer schematischen Darstellung ein Wireless-Local-Loop Netzwerk 50 mit einer Basisstation BS. Teilnehmerstationen sind als SU1 bis SU5 sowie SUn bezeichnet (engl. SU= Subscriber Unit). Weiterhin sind Ausbreitungshindernisse für die Strahlung des Senders mit den Bezugszeichen 52 bis 58 gekennzeichnet. Bei den Ausbreitungshindernissen 52 bis 56 handelt es sich beispielsweise um hohe Gebäude, bei Hindernis 58 um ein Gebirge wie beispielsweise die Alpen.

15 Im Vergleich zu den vorhergehenden Beispielen hängt die Sendeenergie hier nicht mehr ausschließlich von der Entfernung ab, sondern von weiteren Faktoren. Im allgemeinen Fall ist die erforderliche Sendeenergie durch folgende wichtige Parameter bestimmt. Weitere, weniger wichtige, dem Fachmann aber bekannte Parameter, sind in der nachfolgenden Liste nicht aufgeführt:

- > Modulationsart
- 20 > Entfernung von Sender und Empfänger
- > Störungen und Rauschen
- > geforderte BER (z.B. für spezielle Sicherheitsanwendungen)
- > Mehrwegeausbreitung (line-of-sight, non- line-of-sight)
- > Antennencharakteristik

- Die Zellgröße ist entsprechend vorbekannten Verfahren durch die maximale (zulässige) Sendeleistung der Basisstation (BS) vorgegeben. Sie ist in Figur 4 durch eine Kreislinie 60 symbolisiert. Innerhalb dieser Zelle sind die einzelnen Teilnehmer mal näher (so SU5) mal weiter (so SU4) von der Basisstation BS
- 5 entfernt, zusätzlich treten Signalverzerrungen durch Mehrwegeausbreitung, sowie Abschattung des Signals durch große Gebäude 52 bis 58, auf. Das Gebirge 58 stellt ein unüberwindliches Hindernis dar, so dass Teilnehmer SU3, der sich aus Sicht der Basisstation BS jenseits des Gebirges aufhält, nicht erreichbar ist.
- 10 Aufgrund der Vielfalt der vorhandenen Übertragungskanäle können einzelne Teilnehmer gut, andere schlecht und manche gar nicht erreicht werden. Figur 4b) zeigt in Form eines Balkendiagramms die bei entsprechend vorbekannten Verfahren mit konstanter Symboldauer erforderlichen Sendeleistungen, die zur Übertragung an die jeweiligen SU erforderlich sind. Die Nummerierung der
- 15 Balken entspricht der der Teilnehmer. Beispielsweise symbolisiert Balken 1 die dem Teilnehmer SU1 zugeordnete Sendeleistung. Die beiden SU1 und SU2 liegen außerhalb der Reichweite der Basisstation BS und können nur mit Leistungen erreicht werden, die höher als die zulässige Spitzenleistung P_{send} sind.
- 20 Figur 4c) zeigt dagegen zum Vergleich die mit einem Bit-Dauer-Management erzielte Lösung. Zum Empfang mit derselben Empfangsenergie bei den Teilnehmern wird jeweils eine entsprechend angepasste Sendeenergie verwendet, die durch Anpassung der Symboldauer bei jeweils maximaler Sendeleistung P_{send} eingestellt wird. Aufgrund der verschiedenen Kanaleigenschaften
- 25 unterscheidet sich die vorhandene Kanalkapazität innerhalb des Netzwerkes für jeden Teilnehmer. Diese fundamentale physikalische Eigenschaft begründet einen wesentlichen Unterschied zu heute üblichen Netzwerkorganisationsverfahren, die allen Teilnehmern einer Zelle die gleiche Kanalkapazität (bzw. Datenrate) zuweisen wollen.

Die Aufgabe der Nachrichtentechnik könnte nun neu gefasst werden, indem einem beliebigen Teilnehmer innerhalb eines Netzes dynamisch die optimale Datenrate, bei der jeweils zulässigen Fehlerrate, angeboten werden kann. Die hierfür notwendige Symbolenergie ist damit die bestimmende Regelgröße des Netzwerkes. Aus diesem Ansatz folgt, dass die gesendeten Symbole nicht 5 starr sein dürfen, sie müssen dynamisch beim Sender verändert werden, so dass der betreffende Teilnehmer für die gewählte Modulation in Abhängigkeit von dem Übertragungskanal immer die geforderte Empfangsqualität, beschrieben z.B. durch eine Fehl-Erkennungsrate oder speziell eine Bitfehlerrate, erhält. 10

Die physikalischen Grundsätze ermöglichen dies in einem dynamischen Kanal aber nur dann, wenn die gesendeten Datensymbole dynamisch in der Energie angepasst werden, d.h. eine optimale Energiemodulation bzw. ein optimales Bit-Dauer-Management erfolgt, oder im Hinblick auf die Netzwerkorganisation: 15 ein Energie-Budget-Management.

Unter Bezugnahme auf Figur 5 soll nun ein allgemeines Ausführungsbeispiel betrachtet werden, das für drahtlose Verbindungen typisch ist. Von einer Basisstation ausgehend wird eine Anzahl N_{channel} Teilnehmer gleichzeitig versorgt, wobei eines der typischen Multiple-Access Verfahren angewendet werden kann. Die folgenden Berechnungen gehen von einer vorgegebenen Zelle 20 aus, die so dimensioniert ist, dass der am weitesten entfernte Nutzer mit einem Abstand r_{ref} [m] vom Sender mit einer vorgegebenen Symboldauer T_{ref} [s] und der maximalen Sendeleistung P_{send} [W], gerade noch die Energie E_{min} [Ws] erhält, die zum sicheren Empfang der Daten notwendig ist.

25 Des weiteren wird angenommen, dass im allgemeinen Fall die Daten mit einer Spreizung übertragen werden. In diesem Fall gilt somit, dass die verwendete Bandbreite B [Hz] größer ist als der Kehrwert der Symboldauer T_{ref} [s].

Zusätzlich wird angenommen, dass in der Referenzzelle die gewählte Modulationsart für alle Teilnehmer gleich ist, Antennen mit einer isotropen Richtcha-

5 rakteristik verwendet werden und die Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen im Freiraum erfolgt. All diese Annahmen sind keineswegs zwingende Voraussetzungen für das Energie-Budget-Management. Sie dienen lediglich dazu, die hier erläuterten Berechnungen mit einfachen Formeln durchführen zu können.

10 Die betrachtete Referenzzelle wird von einer Basisstation aus versorgt, die eine fest vorgegebene Anzahl von Kanälen bereitstellt, zum Beispiel in einem TDMA oder CSMA Vielfachzugriffs-Verfahren. Jeder dieser Kanäle verfügt über eine Datenrate R_{ref} [Bit/s], die genau der vom Teilnehmer angeforderten Datenrate entsprechen soll.

Soweit in den nachfolgenden Erläuterungen auf Formeln Bezug genommen wird, die hier nicht angegeben sind, finden sich diese unter der jeweils angegebenen Nummer im Anhang 2.

15 Die begrenzenden physikalischen Größen in der betrachteten Zelle sind, die Bandbreite und die maximale Sendeleistung. Von grundlegender Bedeutung ist nun, dass für die angenommene Freiraumausbreitung die empfangene Leistung für jeden Teilnehmer in der Zelle quadratisch von dessen Entfernung zur Basisstation abhängt.

20 Die empfangene Leistung ist die entscheidende Stellgröße in diesem Beispiel, sie ist durch die Position des jeweiligen Nutzers eindeutig bestimmt. Für den Empfang einer gesendeten Information ist jedoch nicht die Leistung entscheidend, sondern die Empfangsenergie pro Bit $E_{receive}$, die sich aus dem Produkt von empfangener Leistung und Symboldauer berechnet. In einem optimalen System sollte diese Größe daher konstant gehalten werden, so dass die erforderliche Fehlerrate eingehalten wird.

25

$$E_{receive} = P_{receive} \cdot T_{symbol} \quad , \quad P_{receive}(r) \sim \frac{1}{r^2} \Rightarrow T_{symbol} \sim r^2 \quad (7)$$

Das betreffende Referenzsystem sei ein starres System, mit einer festen Symboldauer T_{ref} [s], dessen Dimensionierung darauf ausgelegt ist, bei einer maximalen Entfernung r_{ref} [m] den Empfang der Information sicherzustellen, wodurch die minimale Energie pro Symbol E_{min} vorgegeben ist, die zum Empfang notwendig ist. Dabei wird zunächst angenommen, dass in dem Referenzsystem jedes Symbol nur ein Bit als Informationsgehalt enthält.

$$E_{\text{min}} = P_{\text{receive}}(r_{\text{ref}}) \cdot T_{\text{ref}} \quad (8)$$

In vielen heute üblichen Übertragungsverfahren wird die Energie der empfangenen Symbole dadurch konstant gehalten, dass die gesendete Leistung reduziert wird. Auf diese Weise wird die zur Verfügung stehende Kanalressource leichtfertig vergeudet. Es soll hier nun gezeigt werden, wie leicht die Ressourcen durch die Anwendung des Energie-Budget-Management genutzt werden können.

Die folgenden Berechnungen basieren auf dem Vergleich der Systeme, d.h. die Verhältnisse von dem starren Referenzsystem zu dem flexiblen System mit Energie-Budget-Management sind hier entscheidend.

Für den sicheren Empfang der Nachrichten bei der gewählten Modulationsart ist nun die Energie E_{min} [Ws] erforderlich, die über die Kanalverluste mit der gesendeten Energie zusammenhängt.

Diese fällt in erster Näherung quadratisch mit der Entfernung r [m] ab, ist aber nach oben (d.h. bei kleinen Abständen) aus physikalischen Gründen stets beschränkt. Allgemein formuliert gilt für die Abstrahlung der Leistung, unter den genannten Voraussetzungen:

$$P_{\text{receive}}(r) = \frac{P_{\text{send}}}{1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \right)^2} \quad (9)$$

Für die Referenzzelle kann dieser Wert leicht zur minimalen Energie E_{\min} [Ws] in Beziehung gesetzt werden, indem mit der Symboldauer multipliziert wird (19). Da sich nun auf der Luftschnittstelle die Dauer des gesendeten Symbols nicht ändert, kann allgemein die empfangene Energie pro Symbol als Funktion
5 von der gesendeten gesehen werden (20).

In den klassischen Verfahren sendet nun die Basisstation der Referenzzelle die Signale zu allen Teilnehmern mit der gleichen Energie, wodurch wie bereits mehrfach erläutert vorhandene Ressourcen zum Teil vergeudet werden, indem nahe an der Basisstation liegenden Nutzern zuviel Leistung bzw. Ener-
10 gie zugesendet wird.

Aufgrund des Multiple-Access-Verfahrens werden „quasi parallel“ mehrere Nutzer versorgt. Die Anzahl der aktiven Nutzer in der Referenzzelle entspricht dabei der Anzahl der Kanäle N_{channel} des Access-Verfahrens.

Die pro Symbol abgestrahlte Energie E_{send} [Ws] wird definiert als Produkt aus
15 maximaler Sendeleistung P_{send} [W] und Symboldauer T_{ref} [s] des Referenzsystems.

In Summe ist es aufgrund gesetzlicher Vorschriften der Basisstation gestattet, die Energie:

$$E_{BS_classical} = N_{\text{channel}} \cdot E_{\text{send}} \quad (10)$$

20 abzustrahlen.

Dieses Energie-Budget steht demnach für die Zelle zur Verfügung. Genau an diesem Punkt setzt das Energie-Budget-Management an. Jedem Teilnehmer wird nur die Sendeenergie zugesendet, die benötigt wird, damit er die Signale mit einer Energie E_{\min} [Ws] empfängt.

Für die allgemeine Ableitung ist die Anzahl der aktiven Nutzer in dem betrachteten Gebiet bei Verwendung des Energie-Budget-Managements entscheidend, die sich allgemein über die Nutzerdichte bezogen auf die Fläche beschreiben lässt. Im folgenden wird diese Dichte als konstant angesetzt (21) und auf die betrachtete Referenzzelle normiert. Da die Dichte konstant ist, ändert sich der Wert nicht über der Fläche, so dass in den Formeln r und φ nur formal als Variablen verwendet werden, die die Position beschreiben.

Durch die Anwendung des Energie-Budget-Managements werden nun die Ressourcen optimal genutzt, indem jeder Nutzer unabhängig von seiner Position die minimale Energie pro Symbol empfängt. Da die empfangene Energie konstant ist, muss dementsprechend die gesendete Energie durch das Energie-Budget-Management in Abhängigkeit von der Entfernung verändert werden (22).

Die im statistischen Mittel insgesamt von der Basisstation abgestrahlte Energie ergibt sich nun als Integral über die flächenbezogene Dichte der aktiven Nutzer (23), jeweils multipliziert mit der gesendeten Energie.

Die Integration über eine kreisförmige Fläche A mit dem Radius r_{cell} [m] ergibt die einfache Formulierung (24), die im folgenden verglichen werden soll mit dem bereits dargelegten Wert für die klassische Zelle.

Dazu wird zunächst der Fall betrachtet, dass beide Zellen gleich groß sein sollen, d.h. $r_{\text{cell}} = r_{\text{ref}}$, dieser Fall ist mit 64 in Figur 5 gekennzeichnet, und die von der Basisstation abgestrahlte Energie für beide Fälle gleich sein soll.

Unter diesen Voraussetzungen, dem gleichsetzen von (10) und (24) ergibt sich, unter Beachtung der Formel (19) für die minimale Energie, ein direkter Zusammenhang zwischen der Anzahl der aktiven Kanäle in beiden Fällen.

$$N_{channel} = \frac{1}{2} \frac{2 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{ref}}{\lambda} \right)^2}{1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{ref}}{\lambda} \right)^2} \cdot N_{channel_EBM} \quad (11)$$

Für alle in der Praxis relevanten Fälle kann diese Formel noch wesentlich vereinfacht werden durch die Näherung (25). Damit ergibt sich der einfache Zusammenhang, dass durch die Anwendung des Energie-Budget-Management die Anzahl der Kanäle $N_{channel_EBM}$ gegenüber der herkömmlichen Anzahl $N_{channel}$ bei gleicher Zellgröße und gleicher Datenrate pro Kanal ($R_{EBM} = R_{ref}$) verdoppelt wird.

$$N_{channel_EBM} = 2 \cdot N_{channel} \quad (12)$$

Dies ist in Figur 5 anhand der Zelle 64 dargestellt.

Alternativ kann auch bei gleicher Kanalanzahl $N_{channel_EBM} = N_{channel}$ die Datenrate pro Teilnehmer verdoppelt werden, $R_{EBM} = 2 R_{ref}$. Die Einführung des Energie-Budget-Management führt damit zu einer 100%-igen Steigerung der Effizienz der vorgegebenen Zelle. Dies ist in Figur 5 anhand einer Zelle 62 dargestellt.

Als weiteres Zahlenbeispiel soll anhand einer Zelle 66 der Fall betrachtet werden, dass die Flächendichte der aktiven Nutzer für beide Fälle gleich sein soll (26).

Aufgrund des bereits abgeleiteten Ergebnisses ist damit sofort klar, dass für die betrachtete Zelle unter Anwendung des EBM weniger Energie von der Basisstation ausgesendet wird. Diese Energiedifferenz kann dazu genutzt werden, die Zelle auf $r_{EBM} > r_{ref}$ auszuweiten, in (27) wird dazu r_{cell} durch r_{EBM} ersetzt, dies ist in Figur 5 anhand einer Zelle 66 dargestellt. Die Auflösung der

- Formel (27) führt zu einer komplizierten Formulierung, die als Quotienten nur das Verhältnis von ausgedehnter Zelle zur Referenzzelle enthält (28), die für die maximale Ausdehnung der Zelle unter Anwendung des Energie-Budget-Management bei gleicher Versorgungsqualität aller Teilnehmer gilt. Diese
- 5 Formel lässt sich erneut wesentlich vereinfachen durch Berücksichtigung der Beziehung (25). Es ergibt sich

$$\frac{r_{EBM}}{r_{ref}} = \sqrt[4]{2} \approx 1.2 \quad (13)$$

- Die Zelle 66 wird damit im Radius r_{EBM} um 20% ausgedehnt bei gleicher Versorgungsqualität (Datenrate) aller aktiven Teilnehmer, $R_{EBM} = R_{ref}$. Dies er-
- 10 scheint zunächst wenig, doch erhöht sich damit die Anzahl aller Kanäle von $N_{channel}$ auf

$$N_{channel_EBM} = N_{channel} \cdot \left(\frac{r_{EBM}}{r_{ref}} \right)^2 = N_{channel} \cdot \sqrt{2} \approx 1.41 \cdot N_{channel} \quad (14)$$

Die Anzahl der Kanäle $N_{channel_EBM}$ in der Zelle 66 kann damit um 41% gesteigert werden. Dieser Vorteil ist in Figur 5 graphisch dargestellt.

- 15 Die obige Ableitung soll nun mit Blick auf die technische Umsetzung des EBM noch einmal näher betrachtet werden. Offensichtlich steht einem Teilnehmer, der sich in der Nähe der Basisstation befindet, in der Regel ein Kanal zur Verfügung, der gegenüber dem weiter entfernt liegenden kleinere Kanalverluste aufweist. In der obigen Ableitung zeigt sich nun, dass für den sicheren Emp-
- 20 fang eines gewählten Symbols damit weniger Energie von der Basisstation abgestrahlt werden muss.

Die Frage ist nun, wie dies technisch umgesetzt werden kann. Dabei gibt es prinzipiell zwei Wege, die Variation der Symboldauer und die Variation der Modulation.

Die folgende Ableitung zeigt, dass beide Verfahren gleichwertig sind, aber anderen Beschränkungen unterliegen, so dass abschließend festgehalten werden kann, dass das beschriebene Energie-Budget-Management prinzipiell durch die dynamische Veränderung der Symboldauer und/oder durch eine höherstufige Modulation optimal umgesetzt werden kann.

Als bevorzugte Variante wird eine Kombination beider Verfahren vorgeschlagen, bei der die elegante Variation der Symboldauer erfolgt, bis diese durch die beschränkte Bandbreite nicht weitergeführt werden kann, und anschließend die höherstufige Modulation angewendet wird.

In jedem Fall stellt die oben abgeleitete Formulierung (24) die Grenze der erzielbaren Verbesserungen des Energie-Budget-Management dar.

Zunächst ermöglicht das EBM eine dynamische Anpassung der Symboldauer. Die gesendete Energie pro Symbol ergibt sich als Produkt der gesendeten Leistung P_{send} [Ws] multipliziert mit der jeweiligen Symboldauer T_{symbol} [s].

Dass eine Variation der Sendeleistung auf einen Wert kleiner als dem maximal erlaubten eine Verschwendung von Kanalressourcen bedeutet, wurde bereits hinreichend erläutert. Daher ist dieser Wert konstant.

Damit sich die gesendeten Energien für die einzelnen Teilnehmer unterscheiden, kann die Symboldauer variiert werden. Für den oben diskutierten Fall gilt damit:

$$E_{\text{send_EBM}}(r) = \left[1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \right)^2 \right] \cdot E_{\text{min}} \Leftrightarrow T_{\text{symbol_EBM}}(r) = \frac{1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \right)^2}{1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{\text{ref}}}{\lambda} \right)^2} \cdot T_{\text{ref}}$$

(15)

Darin bezeichnet E_{\min} [Ws] die Energie, die am Empfänger mindestens erforderlich ist, um die Symbole sicher zu detektieren und T_{ref} [s] ist die Symboldauer in der zuvor betrachteten Referenzzelle mit klassischer Organisation der Zelle.

- 5 Die dynamische Änderung der Symboldauer ist offensichtlich eine sehr elegante Art, die Symbolenergie dynamisch im Sender zu verändern.

Im allgemeinen ist die zur Übertragung eines Symbols mindestens erforderliche Bandbreite gleich dem Kehrwert der Symboldauer. Dieser erste Ansatz kann daher dazu führen, dass die erforderliche Bandbreite nicht zur Verfügung
10 steht. Damit kann dieser Ansatz leicht an Grenzen stoßen, die eine optimale Nutzung des Energie-Budget-Managements verhindern.

Alternativ oder zusätzlich kann eine dynamische Änderung der höherstufigen Modulation vorgenommen werden. Diese zweite Realisierungsform ist etwas komplizierter und muss daher näher erläutert werden. In den bislang verwen-
15 deten Formulierungen tritt die Größe E_{\min} auf, die für den allgemeinen Fall die Energie bezeichnet, die bei einer gewählten Modulation im Empfänger ankommen muss, damit dieser die Information eines Bit mit hinreichender Sicherheit erkennt. Im allgemeinen Fall kann ein Symbol jedoch mehrere Bit enthalten.

20 Der Zusammenhang zwischen Symbolenergie und Bitenergie, bzw. Informationsgehalt des Symbols, ergibt sich aus der gewählten Modulation. Liegt der Fall vor, dass die Symbole am Empfänger eine zu große Energie aufweisen, so könnte alternative diese Energie dazu genutzt werden, die Modulationsart zu ändern und Symbole zu verwenden, die mehr Information tragen und daher
25 mehr Energie benötigen.

Als einfaches Beispiel sei hier der Fall betrachtet, dass in der Referenzzelle eine BPSK-Modulation verwendet wird, bei der jedes Symbol genau einem Bit

entspricht. Die erforderliche Empfangsenergie wird mit E_{b_min} bezeichnet, wobei der Index b auf Bit hinweisen soll.

5 Beim Übergang von der BSPK zur QPSK ändert sich nun beispielsweise der Informationsgehalt des Symbols von 1 Bit auf 2 Bit. Gleichzeitig steigt die notwendige Energie an, die zum sicheren Empfang der Symbole notwendig ist. Es gilt dabei $E_{min}=2 \cdot E_{b_min}$.

10 Für das Energie-Budget-Management ergibt sich damit der Fall, dass die vorhandene Energie vom Empfänger vollständig genutzt werden kann, indem die Modulation den Gegebenheiten angepasst wird und nicht die Symboldauer variiert wird, sondern der Informationsgehalt innerhalb der Symbole.

Prinzipiell gilt immer, dass die Symbolenergie umgerechnet werden kann in eine entsprechende Energie pro Bit:

$$E_s = \log_2(M) \cdot E_b \quad (16)$$

15 wobei M die Anzahl der verschiedenen „Zustände“ des Symbols beschreibt und $\log_2(M)$ die Anzahl der Bit pro Symbol, wobei alle Zustände gleiche Wahrscheinlichkeit besitzen. Im allgemeinen Fall kann hier auch eine unterschiedliche Wahrscheinlichkeit betrachtet werden.

20 Verallgemeinernd wird nun angenommen, dass sich immer eine Modulationsart finden lässt, so dass die Symbole mit höherem Informationsgehalt im statistischen Mittel für jedes Bit die Energie E_{b_min} benötigen, so wie dies für die gewählte Referenzzelle erforderlich ist.

In dieser Realisierungsform wird nur die Modulation der Symbole variiert. Die vom Sender (bzw. der Basisstation) abgestrahlte Energie ist dabei für jeden Teilnehmer immer gleich:

$$E_{symbol_send} = P_{send} \cdot T_{ref} = E_{send} = \text{konstant.} \quad (17)$$

Dies entspricht scheinbar dem Referenzfall, doch im EBM wird der Informationsgehalt der Symbole verändert. Dies offenbart sich, wenn die gesendete Energie pro Bit angegeben wird:

$$5 \quad E_{b_send_EBM} = \frac{E_{send}}{\log_2[M(r)]} \quad (18)$$

Entsprechend den auftretenden Verlusten ergibt sich nun für einen nahen Teilnehmer ein höherer Informationsgehalt, d.h. ein großes M und für einen weiter entfernt liegenden Teilnehmer ein kleineres M . Die empfangene Energie pro Bit soll dagegen immer dem minimalen Wert entsprechen (29), so dass
10 sich über der Entfernung eine Funktion der gesendeten Energie für den betreffenden Teilnehmer ergibt.

Die Gleichsetzung der beiden Ausdrücke (18) und (29) führt auf eine eindeutige Beschreibung der im Sender zu wählenden Modulation (31), wobei angenommen werden darf, dass die Anzahl der diskreten „Zustände“ des Symbols
15 $M(r)$ hinreichend vielfältig sein können, um die gegebene, kontinuierliche Funktion gut zu approximieren.

Jeder Teilnehmer benötigt nun für die Übertragung einer vorgegebenen Informationsmenge nicht eine Anzahl von Symbolen, sondern nur von Bits. Damit ist die Energie, die ein einzelner Teilnehmer in Anspruch nimmt, nur von der
20 Anzahl der Bit und der Energie des einzelnen Bit abhängig, so dass sich in Summe über gleichberechtigte Teilnehmer für die Anwendung des Energie-Budget-Management das Integral (32) ergibt.

Mit den oben angegebenen Formeln lässt sich dieses Integral einfach berechnen (33) und ergibt den vorher bereits in der allgemeinen Ableitung enthalten
25 Ausdruck (24).

Geändert wurde hier nur die Bezeichnung der minimalen Energie, da hier eine Unterscheidung von Bit- und Symbolenergie notwendig war. Für den klassische Fall gilt dagegen weiterhin (34). Dies entspricht exakt der vorher angegebenen allgemeinen Ableitung, so dass abschließend festgehalten werden
5 kann, dass das beschriebene Energie-Budget-Management prinzipiell auch durch eine höherstufige Modulation optimal umgesetzt werden kann.

Anhand der Figuren 6 und 7 wird nachfolgend als weiteres Ausführungsbeispiel ein Time-Division-Multiple-Access Verfahren (TDMA) betrachtet.

Die Figuren 6 und 7 zeigen jeweils die Aufteilung einer bestimmten Zeitspanne
10 T_{FRAME} in Zeitabschnitte 70 bis 76 bzw. 80 bis 88 und 80' bis 84', so genannte Zeitschlitz (time slots). In einem herkömmlichen TDMA-Verfahren wird eine Trennung der Teilnehmer auf der Zeitachse vorgenommen, indem jedem Teilnehmer ein bestimmter Zeitschlitz zugewiesen wird. Diese Zeitschlitz treten periodisch mit Zeitabständen T_{FRAME} auf, nach denen jeder Teil-
15 nehmer erneut einen Zeitschlitz zugewiesen bekommt. Der Abschnitt 76 in Figur 6 kennzeichnet eine Zeitspanne mit einer Anzahl weiterer Zeitschlitz der Dauer T_{Channel} .

In einem Netzwerk sind nun die Kanalbedingungen für den einzelnen Nutzer unterschiedlich, so dass nach dem Verfahren des EBM verschiedene Symbol-
20 dauern und verschiedene Modulationen angewendet werden müssen, um die vorhandenen Ressourcen optimal zu nutzen.

Wird dabei die Anzahl der übertragenen Bit pro Zeitschlitz festgehalten, und damit dem Teilnehmer eine unveränderte Datenrate garantiert, so wird die Dauer der Zeitschlitz dynamisch nach den Kanalbedingungen verändert.
25 Dies ist in Figur 7 anhand der unterschiedlichen Breite der Zeitschlitz 80 bis 88 und 80', 82' und 84' zu erkennen. Die Organisation dieser verschieden langen Zeitschlitz ist im TDMA relativ einfach.

Gegenüber einer Referenzzelle wird in der Regel die Zeitdauer eines Paketes reduziert, da, wie bereits mehrfach erläutert, der klassische Entwurf auf den „worst case“ ausgelegt wird und alle näheren Stationen eine zu große Leistung empfangen, wie Figur 2 zeigt. Die Effizienz des EBM ist damit sofort offensichtlich.

Die Ausführung des EBM kann nun z.B. bei festgehaltener Symboldauer und damit unveränderter Bandbreite durch eine höherstufige Modulation erfolgen, so dass zur Übertragung einer vordefinierten Information weniger Symbole und damit ein kürzerer Zeitschlitz erforderlich ist. Exemplarisch sei hier eine QAM erwähnt, so dass der Informationsgehalt der Symbole schrittweise erhöht werden kann, von QPSK bis z.B. 256 QAM.

Im Empfänger sind die notwendigen Änderungen des Detektors relativ gering. Neben der reinen Phasendetektion ist bei der QAM zusätzlich ein Amplitudendetektor notwendig.

Zur Bestimmung des optimalen Symbols für das EBM kann hier eine einfache Regelung verwendet werden, indem im Access-Kanal zunächst die einfachste Modulation angewendet wird und dann schrittweise eine höherstufige Modulation, deren Symbole einen höheren Informationsgehalt besitzen. Dieser Informationsgehalt kann dann erhöht werden, bis entweder das informationshaltigste Symbol verwendet wird, oder die Übertragungsqualität (bestimmt durch die Bit-Fehler-Rate) nicht mehr den Ansprüchen genügt.

Alternativ könnte die Leistung des empfangenen Signals gemessen werden und aufgrund dieser Information das günstigste Symbol sofort bestimmt werden, ohne eine schrittweise Regelung zu durchlaufen.

Diese Optimierung ist für jeden Teilnehmer einzeln durchzuführen. Aufgrund der kanalspezifischen Zeitschlitzlängen ist dann eine neu Organisation des TDMA notwendig, bei der die Zeitmarken für den Beginn der einzelnen Zeitschlitz dynamisch den Veränderungen des Netzes angepasst werden.

Dabei können so viele Zeitschlitzte vergeben werden, bis der vorgegebene Zeitrahmen T_{FRAME} optimal gefüllt ist.

Zusätzlich kann der Fall auftreten, dass durch Störungen oder Abschattung die Energie der Symbole für einzelne Teilnehmer zu klein ist. Im klassischen
5 TDMA ist dann keine Verbindung möglich.

In diesen Fällen muss zusätzlich eine Verlängerung der Symboldauer erfolgen, z.B. indem die Dauer schrittweise verdoppelt wird unter Anwendung der einfachsten Modulation, bis entweder die maximale Symboldauer erreicht ist, oder die Übertragungsqualität (bestimmt durch die Bit-Fehler-Rate) den An-
10 sprüchen genügt.

Der Empfänger muss dabei ggf. sein „matched Filter“ anpassen, so dass die vorhandene Energie des Symbols optimal genutzt wird.

In der Kombination beider Regelungen wird die Qualität der Übertragung für alle Teilnehmer des TDMA durch Einführung des EBM deutlich verbessert.

15 Anhand der Figur 8a wird nachfolgend die Anwendung des EBM auf ein MDMA-Verfahren erläutert.

Die Erzeugung langer Symbole in einem Sender bereitet oft keine Schwierigkeiten. Im Empfänger kann es dagegen große Probleme bereiten, lange Symbole mit geringer Bandbreite zu empfangen, insbesondere wenn ein FDMA
20 verwendet wird und die Frequenz genau getroffen werden muss.

In der Regel ist es hier günstiger, die Symbole zu spreizen und einen Korrelationsempfänger zu verwenden. Dies gilt gleichermaßen für alle Pseudo-Noise-Sequenzen (Maximal-Längen Folgen (m-Sequenzen), Gold-Codes usw.), wie auch für alle Arten von Chirpsignalen.

Auch diese Empfängertypen entsprechen im Grunde dem klassischen „Matched Filter“, dass zur optimalen Übertragung verwendet wird.

Aufgrund des dynamischen Energie-Budget-Management und damit Symbol-
dauer-Variation muss dieses Filter ebenfalls dynamisch angepasst werden. In
5 einer Realisierung als „Software radio“ ist auch dieses möglich.

Eine Sonderstellung nehmen hierbei die Chirpsignale ein. Dort ist es möglich,
die einzelnen Signale zeitlich zu superponieren, so dass die physikalischen
Symbole eine andere Zeitdauer aufweisen, als die logischen Symbole.

Im Empfänger werden diese Symbole durch das Kompressionsfilter wieder
10 voneinander getrennt und zu kurzen Impulsen geformt, die den Abstand $n \cdot \delta$ [s]
zueinander einhalten.

In diesem Fall ist es möglich, die Dauer der physikalischen Symbole $T_{\text{Chirp}} \gg \delta$
konstant zu halten, wenn die Dauer T_{symbol} und damit die Datenrate der logi-
schen Symbole durch das Energie-Budget-Management verändert wird.

15 Da durch die Chirpsignale die genutzte Bandbreite B [Hz] immer gleich bleibt,
verändert sich lediglich der enthaltene Spreizgewinn, der sich als $B \cdot n \cdot \delta = n$
berechnet, wenn die Zeitdauer δ der komprimierten Chirpsignale dem Kehrwert
der Bandbreite B entspricht.

Der entscheidende Vorteil dabei ist, dass im Empfänger immer das gleiche
20 Korrelationsfilter oder der gleiche Korrelationsvorgang verwendet werden
kann.

In der Figur 8a ist dieser Fall dargestellt. Dort ist die minimale logische Symbol-
dauer mit δ [s] bezeichnet. Dieser Wert entspricht dem Kehrwert der Band-
breite B [Hz]. Die Frequenz-Spreizung beträgt daher zunächst 1 und wird
25 schrittweise erhöht auf 2, 4, 8 usw. indem die physikalische Pulsdauer δ bei-
gehalten und die Wiederholrate schrittweise verringert wird.

Dabei nimmt die in den physikalischen Symbolen enthaltene Energie schrittweise zu, da die Amplitude der Impulse ansteigt.

5 Bevor diese Signale ausgesendet werden, erfolgt eine Zeitspreizung, so dass das Sendesignal eine nahezu konstante Amplitude und damit konstante Sendeleistung aufweist. Diese Spreizung kann z.B. mit dispersiven Gruppenlaufzeitfiltern erfolgen, so dass jeder schmale Impuls durch ein Chirpsignal vorgegebener Dauer und Bandbreite ersetzt wird.

Im Empfänger findet ein komplementärer Prozess statt, so dass die Chirpsignale wieder zu schmalen Impulsen komprimiert werden.

10 Diese Form der Zeitspreizung wurde bereits in der Patentschrift DE 199 37 706 eingehend erläutert und kann in dieser Form auch Vorteilhaft für die Anwendung des Energie-Budget-Management eingesetzt werden.

15 Die Menge der Sendesymbole in diesem speziellen Fall des MDMA zeichnet sich hier dadurch aus, dass n verschiedene Symbole zur Verfügung stehen, $n \leq T_{\text{chirp}}/\delta$, die Energie der Symbole ganzzahlige Vielfache der kürzesten Symbole sind, gleichzeitig mit der Energie auch der Spreizfaktor erhöht wird, und dem kürzesten Symbol eine höherstufige Modulationen (z.B. PSK oder QAM oder ASK ...) überlagert wird, so dass eine Anzahl von Symbolen mit höherem Informationsgehalt vorliegt.

20 Zur Bestimmung des optimalen Symbols für das EBM kann hier eine einfache Regelung verwendet werden, indem in dem Access-Kanal zunächst die längsten und aufgrund der großen Spreizung robustesten Symbole mit der größten Energie verwendet werden und schrittweise Symbole mit höherer Datenrate getestet werden, bis entweder die maximale Datenrate erreicht wird, oder die
25 Übertragungsqualität (beispielsweise bestimmt durch die Bit-Fehler-Rate) nicht mehr den Ansprüchen genügt.

Im Fall, dass die kürzesten Symbole verwendet werden, wird dann zusätzlich eine höherstufige Modulation angewendet, um jedem Symbol einen höheren Informationsgehalt zuzuweisen. Dieser Informationsgehalt kann erhöht werden, bis entweder das informationshaltigste Symbol verwendet wird, oder die
5 Übertragungsqualität (beispielsweise bestimmt durch die Bit-Fehler-Rate) nicht mehr den Ansprüchen genügt.

Alternativ könnte die Leistung des empfangenen Signals gemessen werden und aufgrund dieser Information das günstigste Symbol sofort bestimmt werden, ohne eine schrittweise Regelung zu durchlaufen.

- 10 Diese Optimierung des Energie-Budgets ist für jeden Teilnehmer innerhalb eines Netzes notwendig, da sich die Kanaleigenschaften in der Regel erheblich unterscheiden.

Figur 9 zeigt ein Ausführungsbeispiel einer Sender-Empfänger-Anordnung 150 für eine drahtlose Verbindung mit Energie-Budget-Management.

- 15 Ein von einer 152 Antenne empfangenes Signal wird zunächst in einem Verstärker 154 mit geringem Rauschen (Low-Noise Amplifier, LNA) verstärkt und dann in einem Empfänger 158 gleichzeitig auf einen RSSI-Detektor 156 und eine Demodulator- und Detektoreinheit 159 gegeben. Aus dem vom RSSI-Detektor 156 ausgegebenen Signal kann ein Mikroprozessor 160 die empfan-
20 ge Energie berechnen und daraus wiederum das optimale Symbol bestimmen, dass bei der gegebenen Empfangsqualität die höchste Datenrate beinhaltet und gleichzeitig hinreichend sicher empfangen werden kann. Das Ausgangssignal der Demodulator- und Detektoreinheit 159 wird zur weiteren Verarbeitung ebenfalls dem Mikroprozessor 160 zugeleitet.

- 25 In einem Handshake-Protokoll kann dann zwischen zwei Stationen die verwendete Symbolart vereinbart werden, wobei während der Phase dieser Abstimmung die sicherste Verbindung gewählt werden kann, d.h. die Übertragung mit den längsten Symbolen durchgeführt wird.

Entsprechend diesem Vorgehen weist auch die Sender-Empfänger-Anordnung der Figur 9 einen mit der Antenne 152 verbundenen Sender 162 auf, der ebenfalls mit dem Mikroprozessor 160 verbunden ist. Optional kann ein Speicher 164 mit abgespeicherten Parametern oder Signalmustern von

5 Datensymbolen unterschiedlicher Dauer und Modulation vorgesehen sein. Der Sender enthält einen ebenfalls eingangsseitig mit dem Mikroprozessor verbundenen Symbolgenerator 163, dem ein Verstärker (PA) nachgeschaltet ist.

Zwei mit einander kommunizierende Sender-Empfänger-Anordnungen sollten vorzugsweise flexibel ausgelegt sein. Es ist sogar möglich, dass die optimalen

10 Ergebnisse erzielt werden, indem der Sender 162 eine Symbolart aussendet und der Empfänger 158 desselben Gerätes im Rahmen einer Verbindung eine andere Symbolart empfängt.

Ein Sende-Empfangsumschalter 151 ist optional vorgesehen, um zwischen Sendebetrieb und Empfangsbetrieb umzuschalten.

15 Die Figuren 10 bis 13 zeigen Varianten des Ausführungsbeispiels der Figur 9. Die nachfolgende Beschreibung dieser Varianten konzentriert sich auf die Unterschiede zur Anordnung der Figur 9. Gleiche Bezugszeichen werden für im Vergleich zur Anordnung der Figur 9 entsprechende Einheiten verwendet.

Im Digitalteil 178 kann der Mikroprozessor 160 über eine verbundene Schnitt-

20 stelle („Interface“) 178 programmiert und gesteuert werden.

Die Sender- und Empfängeranordnung der Figur 10 ist zusätzlich für eine Chirp-Signal-Erzeugung ausgebildet. Hierzu weisen Empfänger 170 und Sender 172 zu einander komplementäre dispersive Verzögerungsstrecken DDL2 und DDL1 auf. Im Sender ist der Verzögerungsstrecke DDL1 ein vom Mikro-

25 prozessor 160 gesteuerter Symbolgenerator 174 vorgeschaltet. Im Empfänger 170 ist der Verzögerungsstrecke DDL2 ein Demodulator- und Detektor-Block 176 nachgeschaltet.

Erzeugte Symbole werden im Sender 172 mit Hilfe der Verzögerungsstrecke DDL1 in Chirpsignale transformiert. Diese nutzen die volle zur Verfügung stehende Bandbreite. Im Empfänger wird die Transformation mit Hilfe des komplementären Filters DDL2 rückgängig gemacht. Die lang gestreckten
5 Chirpsignale werden zu kurzen Signalpeaks umgeformt.

Die Sender- und Empfängeranordnung der Figur 11 unterscheidet sich von der der Figur 10 durch eine im Empfängerteil 170 zusätzlich vorgesehene Kanalschätzungseinheit 182. Damit kann die Bestimmung der optimalen Energie der zu sendenden Signale optimiert werden. So kann die notwendige Sprei-
10 zung sowie die dabei erforderliche Energie direkt geschätzt werden, ohne in einem langwierigen Prozess alle zur Verfügung stehenden Symbole zu testen.

Figur 12 zeigt eine Variante, bei der gegenüber der Anordnung der Figur 11 die Erzeugung einer Pseudo-Noise-Sequenz zur Spreizung der Signale vorgesehen ist. Hierzu ist ein dem Symbolgenerator 174 vorgeschalteter m-
15 Sequenz-Generator 184 im Digitalteil 178 vorhanden. Die gespeicherten möglichen Symbol Dauern betragen nun ein Vielfaches einer Chipdauer. Vor dem Senden der Symbole wird dem Symbol im Symbolgenerator 174 der erforderliche Teil der m-Sequenz überlagert, so dass die Symbole auf maximale Bandbreite gespreizt werden. Zusätzlich ist eine Pulsformung in einer Puls-
20 formeinheit 186 vorgesehen, so dass die vorgegebene Bandbreite eingehalten wird.

Figur 13 zeigt eine Variante in Form eines Transceiver-Moduls 190, das als Software Radio ausgebildet ist, welches programmierbare Funktionsblöcke aufweist, die den oben beschriebenen Einheiten der dort beschriebenen Sen-
25 der-Empfänger-Anordnungen in ihrer Funktion entsprechen.

Im weiteren Unterschied zu den Anordnungen der vorhergehenden Figuren ist hier ein Chirp-Signal-Generator 192 vorgesehen. Ein Analog-Digital-Wandler wandelt auf Empfängerseite die eingehenden Analogsignale in Digitalsignale

zur Weiterverarbeitung im Digitalteil. Zum Senden ist entsprechend ein Digital-Analog-Wandler 196 vorgesehen.

Anhang 1

Tabellarische Übersicht der verwendeten Größen und Symbole

Größe/Symbol	Einheit	Beschreibung
$\circ - \bullet$		Symbol, das die Fouriertransformation kennzeichnet
\Leftrightarrow		Symbol, das die Äquivalenz zweier Gleichungen anzeigt
\Rightarrow		Symbol, das eine logische Konsequenz anzeigt
$\stackrel{!}{=}$		Symbol, das ein Postulat anzeigt, hier eine postulierte Identität
α		Ausbreitungskoeffizient
δ	[s]	Zeitdauer des komprimierten Chirpsignals
λ	[mm]	Wellenlänge
φ	[rad]	Azimuth-Winkel
ψ	[W/W]	Spreizgewinn
ω	[Hz]	Kreisfrequenz
B	[Hz]	Bandbreite
A	[m ²]	Fläche
BER		Bit Error Rate
BLER		Block Error Rate
C	[bit/s]	Kanalkapazität
E	[Ws]	Energie
E _b	[Ws]	Energie eines Bit

E_{b_min}	[Ws]	minimale Energie, die zum Empfang eines Bit erforderlich ist.
$E_{b_receive_EBM}$	[Ws]	Energie im EBM pro empfangenem Bit
$E_{b_send_EBM}$	[Ws]	Energie im EBM pro gesendetem Bit
E_{BS_EBM}	[Ws]	Energie, die in Summe von einer Basisstation abgestrahlt wird, für den Entwurf einer Zelle unter Anwendung des EBM
$E_{BS_classical}$	[Ws]	Energie, die in Summe von einer Basisstation abgestrahlt wird, für einen klassischen Entwurf einer Zelle
ED	[Ws/Hz/s]	Energiedichte (z.B. nach Wigner-Ville)
E_{min}	[Ws]	minimale Energie pro Symbol, die zum Empfang erforderlich ist.
$E_{receive}$	[Ws]	empfangene Energie pro Symbol
E_s	[Ws]	Symbolenergie
ESD	[Ws/Hz]	Energie-Spectral-Density
E_{send}	[Ws]	Energie des gesendeten Symbols
E_{send_EBM}	[Ws]	Energie des gesendeten Symbols unter Anwendung des EBM
E_{symbol_send}	[Ws]	Energie des gesendeten Symbols
f_1	[Hz]	Untere Grenzfrequenz eines Spektrums
f_2	[Hz]	Obere Grenzfrequenz eines Spektrums
f_{active}	[1/m ²]	Dichte der aktiven Nutzer pro Flächeneinheit
f_{active_EBM}	[1/m ²]	Dichte der aktiven Nutzer pro Flächeneinheit unter Anwendung des EBM
FER		Frame Error Rate
f_g	[Hz]	obere Grenzfrequenz im Basisband

M		Anzahl der verschiedenen „Zustände“ eines Symbols
N	[W]	Rauschleistung
n		Anzahl verschiedener Symbole im MDMA mit verschiedenen Symbolauern
N_0	[W / Hz]	Rauschleistungsdichte
N_{channel}		Anzahl der aktiven Kanäle in einer Zelle
$N_{\text{channel_EBM}}$		Anzahl der aktiven Kanäle in einer Zelle unter Anwendung des EBM
P_{receive}	[W]	empfangene Leistung pro Symbol
P_{send}	[W]	maximale Sendeleistung
r	[m]	Entfernungsvariable
r_{cell}	[m]	Radius einer Zelle
r_{EBM}	[m]	Radius einer Zelle bei Anwendung des EBM
R_{ref}	[bit/s]	Datenrate pro Teilnehmer in Referenzzelle
r_{ref}	[m]	Radius einer Referenzzelle
R_{user}	[bit/s]	Datenrate pro Nutzer (user)
S	[W]	empfangsseitige Signalleistung
t_1	[s]	Zeitpunkt
t_2	[s]	Zeitpunkt
t_3	[s]	Zeitpunkt
T	[s]	minimale Symboldauer bzgl der Bandbreite B
T_{channel}	[s]	Dauer eines Zeitschlitzes im TDMA
T_{Chirp}	[s]	Zeitdauer eines Chirp-Signals

T_{FRAME}	[s]	Rahmen-Zeitdauer
T_{ref}	[s]	Symboldauer in einer Referenzzelle
T_{symbol}	[s]	zeitliche Dauer eines Symbols
$T_{\text{symbol_EBM}}$	[s]	zeitliche Dauer eines Symbols unter Anwendung des EBM

Anhang 2

Formeln der Berechnungen zur Figur 5

$$E_{receive}(r) = \frac{E_{send}}{1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r}{\lambda}\right)^2} \quad (19)$$

$$E_{min} = P_{receive}(r_{ref}) \cdot T_{ref} = \frac{P_{send} \cdot T_{ref}}{1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{ref}}{\lambda}\right)^2} = \frac{E_{send}}{1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{ref}}{\lambda}\right)^2} \quad (20)$$

$$5 \quad f_{active}(r, \varphi) = \frac{N_{channel}}{\pi \cdot r_{ref}^2} \quad (21)$$

$$E_{send_EBM}(r) = \left[1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r}{\lambda}\right)^2\right] \cdot E_{min} \quad (22)$$

$$E_{BS_EBM} = \iint_A E_{send_EBM}(r) \cdot f_{active}(r, \varphi) \cdot dA \quad (23)$$

$$E_{BS_EBM}(r_{cell}) = \frac{1}{2} E_{min} \cdot \frac{N_{channel_EBM}}{r_{ref}^2} \cdot \left[2 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{cell}}{\lambda}\right)^2\right] \cdot r_{cell}^2 \quad (24)$$

$$2 \ll \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{ref}}{\lambda}\right)^2 \quad (25)$$

$$10 \quad f_{active}(r, \varphi) = \frac{N_{channel}}{\pi \cdot r_{ref}^2} = f_{active_EBM}(r, \varphi) = \frac{N_{channel_EBM}}{\pi \cdot r_{ref}^2} \quad (26)$$

$$E_{BS_EBM}(r_{cell}) = \frac{1}{2} E_{min} \cdot \frac{N_{channel}}{r_{ref}^2} \cdot \left[2 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{cell}}{\lambda}\right)^2\right] \cdot r_{cell}^2 \stackrel{!}{=} E_{BS_classical} \quad (27)$$

$$\frac{1}{2} \frac{2 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{EBM}}{\lambda} \right)^2}{1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{ref}}{\lambda} \right)^2} \cdot \frac{r_{EBM}^2}{r_{ref}^2} = 1 \quad (28)$$

$$E_{b_receive_EBM} = \frac{E_{b_send_EBM}}{1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \right)^2} = E_{b_min} \quad (29)$$

$$E_{b_send_EBM}(r) = \left[1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \right)^2 \right] \cdot E_{b_min} \quad (30)$$

$$5 \quad \log_2[M(r)] = \frac{1}{1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r}{\lambda} \right)^2} \cdot \frac{E_{send}}{E_{b_min}}, \quad (31)$$

$$E_{BS_EBM} = \iint_A E_{b_send_EBM}(r) \cdot f_{active}(r, \varphi) \cdot dA. \quad (32)$$

$$E_{BS_EBM}(r_{cell}) = \frac{1}{2} E_{b_min} \cdot \frac{N_{channel_EBM}}{r_{ref}^2} \cdot \left[2 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{cell}}{\lambda} \right)^2 \right] \cdot r_{cell}^2, \quad (33)$$

$$E_{BS_classical} = N_{channel} \cdot E_{send} = \left[1 + \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot r_{ref}}{\lambda} \right)^2 \right] \cdot E_{b_min} \quad (34)$$

Ansprüche

1. Verfahren zur Übertragung einer Vielzahl von Symbolen mit je mindestens einem Bit von einem Sender zu mindestens einem Empfänger unter Verwendung mindestens eines Kanals und einer vorgegebenen Sendeleistung,
5
- bei dem die Symbole mit einer empfängerspezifischen Sendeenergie gesendet werden, die auf Seiten des Empfängers zum Empfang des Symbols mit einer Empfangsenergie führt, welche einem dem Empfänger zugeordneten oberen Grenzwert oder einem im Vergleich mit dem
10 oberen Grenzwert geringeren Wert einer Fehl-Erkennungsrate entspricht, und
- bei dem zur Erzielung der empfängerspezifischen Sendeenergie und gleichzeitig einer möglichst hohen Bitrate in Abhängigkeit von aktuellen Übertragungsbedingungen zwischen Sender und Empfänger die Symboldauer, oder die Anzahl je Symbol übertragener Bits, oder die Symboldauer und die Anzahl je Symbol übertragener Bits angepasst wird.
15
2. Verfahren zur Organisation eines Netzwerkes, bei dem für jede Übertragung einer Vielzahl von Symbolen mit je mindestens einem Bit von einem Sender zu mindestens einem Empfänger unter Verwendung mindestens eines Kanals und einer vorgegebenen Sendeleistung die Symbole gesendet werden:
20
- mit einer empfängerspezifischen Sendeenergie, die auf Seiten des Empfängers zum Empfang des Symbols mit einer Empfangsenergie führt, welche einem dem Empfänger zugeordneten oberen Grenzwert oder einem geringeren Wert einer Fehl-Erkennungsrate entspricht,
25
- wobei in Abhängigkeit von aktuellen Übertragungsbedingungen zwischen Sender und Empfänger zur Erzielung der empfängerspezifischen Sendeenergie und gleichzeitig einer möglichst hohen Bitrate die Symboldauer, oder die Anzahl je Symbol übertragener Bits oder die Symboldauer und die Anzahl je Symbol übertragener Bits angepasst wird.
30

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem ausschließlich die Symboldauer angepasst wird.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, mit einem Schritt der Auswahl zwischen drei zur Verfügung stehenden Anpassungsmöglichkeiten, nämlich einer Anpassung der Symboldauer, einer Anpassung der Anzahl je Symbol übertragener Bits, und einer Anpassung sowohl der Symboldauer als auch der Anzahl je Symbol übertragener Bits.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem kanalspezifisch im zeitlichen Mittel die vorgegebene Sendeleistung und/oder die abgestrahlte elektrische Feldstärke und/oder die abgestrahlte magnetische Feldstärke und/oder die spektrale Leistungsdichte im Rahmen zulässiger Leistungsabstrahlung oder eine mit einer oder mehreren dieser Größen korrelierte Größe einen Grenzwert annimmt, der der maximal möglichen Sendeenergie pro Zeiteinheit im Rahmen zulässiger Abstrahlung entspricht..
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die vorgegebene Sendeleistung im zeitlichen Mittel im Rahmen der technischen Auslegung des Senders maximal ist.
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Sendeleistung vorgegeben werden kann.
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, mit einem zusätzlichen Schritt des Ermitteln eines aktuellen Wertes der Empfangsenergie bei gegebener Sendeenergie.
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem auf Seiten des Empfängers eine RSSI-Messung (radio signal strength indicator) der empfangenen Leistung durchgeführt und dem Sender ein vom Mess-Ergebnis abhängiges Signal übertragen wird.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, mit einem alternativen oder zusätzlichen Schritt des Ermitteln eines aktuellen Wertes der Fehl-Erkennungsrate.
- 5 11. Verfahren nach Anspruch 10, bei dem die Fehl-Erkennungsrate durch Bestimmung der Anzahl der Fehler innerhalb eines empfangenen Datenrahmens ermittelt wird.
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, bei dem die Fehl-Erkennungsrate durch Mittelung der Fehleranzahl in einer Mehrzahl von Datenrahmen ermittelt wird.
- 10 13. Verfahren nach Anspruch 12, bei dem die Fehl-Erkennungsrate mit Hilfe der Anzahl negativer Quittungssignale des Empfängers über eine vorgegebene Zeitspanne ermittelt wird.
14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Fehl-Erkennungsrate eine Bitfehlerrate (BER), eine Blockfehlerrate (BLER) oder eine Rahmenfehlerrate (FER) ist.
- 15 15. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Anpassung der Symboldauer in Abhängigkeit vom aktuellen Wert der empfängerseitigen Fehl-Erkennungsrate oder von einem aktuellen, empfängerseitigen Betrag der Rauschleistungsdichte erfolgt.
- 20 16. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Empfänger dem Sender die aktuelle Fehl-Erkennungsrate oder den aktuellen Betrag der Rauschleistungsdichte übermittelt.
17. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Sender die aktuelle empfängerseitige Fehl-Erkennungsrate oder den aktuellen Betrag der Rauschleistungsdichte schätzt.
- 25

18. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Symboldauer oder die Anzahl der in einem Symbol enthaltenen Bits oder beides in Abhängigkeit von aktuellen Übertragungsbedingungen zwischen Sender und Empfänger dynamisch in einer bestehenden Verbindung oder einem laufenden Datenverkehr nachgeregelt wird, ohne dass die Verbindung oder der Datenverkehr unterbrochen wird.
19. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Änderung der Symboldauer zeitlich kontinuierlich, alternativ quasi-kontinuierlich, alternativ in vorbestimmten Zeitabständen erfolgt.
20. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Symboldauer kanalspezifisch, also auf jedem verwendeten Kanal individuell angepasst wird.
21. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Symboldauer zu kurzen Symboldauerwerten hin kanalspezifisch durch die Bandbreite des Kanals beschränkt ist.
22. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Symboldauer aus einem kontinuierlichen Wertespektrum bestimmt wird.
23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 21, bei dem die Symboldauer aus einem diskreten Wertespektrum bestimmt wird, wobei das diskrete Wertespektrum die ganzzahligen Vielfachen einer kanalspezifisch kürzestmöglichen Symboldauer enthält.
24. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Symboldauer T_{symbol} senderseitig entsprechend der Formel

$$T_{symbol} = \frac{E_{\min} \cdot \left(\frac{r}{r_0} \right)^\alpha}{P_{send}},$$

bestimmt wird, wobei E_{\min} die Empfangsenergie ist, die dem Empfänger zugeordneten oberen Grenzwert der Fehl-Erkennungsrate entspricht, P_{send} die maximale Sendeleistung, r die Entfernung zwischen Sender und Empfänger, r_0 eine Bezugsentfernung und α einen Ausbreitungskoeffizienten bezeichnet.

5

25. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Auswahl der Anzahl je Symbol übertragener Bits in Abhängigkeit vom aktuellen Wert der empfängerseitigen Fehl-Erkennungsrate oder von einem aktuellen, empfängerseitigen Betrag der Rauschleistungsdichte erfolgt.

10

10 26. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Anzahl je Symbol übertragener Bits kanalspezifisch angepasst wird.

27. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem eine Anpassung der Anzahl je Symbol übertragener Bits dann erfolgt, wenn eine kanalspezifisch kürzeste Symboldauer bereits verwendet wird.

15 28. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem ein Symboltyp mit der höchstmöglichen Anzahl an Bits zur Übertragung ausgewählt wird, welche empfängerseitig den oberen Grenzwert der Fehl-Erkennungsrate nicht überschreiten lässt.

20 29. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Symbole jeweils auf eine Sequenz von Chips aufgeteilt übertragen werden.

30. Verfahren nach Anspruch 29, bei dem die Symbole in der Frequenz gespreizt werden, indem sie mit einer Noise- oder Pseudo-Noise-Sequenz moduliert werden, wobei die Noise- oder Pseudo-Noise-Sequenz dem Empfänger bekannt ist.

25 31. Verfahren nach Anspruch 30, bei dem die Noise- oder Pseudo-Noise-Sequenz dynamisch der gewählten Symboldauer angepasst wird.

32. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Symbole derart übertragen werden, dass die zur Verfügung stehende Kanalbandbreite voll genutzt wird.
- 5 33. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Symbole in der Frequenz gespreizt übertragen werden.
34. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Symbole in Form eines Chirpsignals gesendet werden.
35. Verfahren nach Anspruch 34, bei dem sich für einen jeweiligen Empfänger bestimmten Chirpsignale des Senders zeitlich überlagern.
- 10 36. Verfahren nach Anspruch 35, bei dem die Summe der in einem Zeitpunkt ausgestrahlten Sendeleistungen der sich überlagernden Chirpsignale gleich der maximal zulässigen Sendeleistung auf dem jeweiligen Kanal ist.
- 15 37. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Symbole in Form einer CDMA-Sequenz übertragen werden.
38. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem die Symbole im Rahmen eines FDMA-Verfahrens übertragen werden.
39. Verfahren nach Anspruch 38, bei dem die Aufteilung in FDMA-Kanäle dynamisch erfolgt, derart, dass Empfängern mit guten Kanalübertragungsbedingungen eine geringere Bandbreite zugewiesen wird.
20
40. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem auf mindestens einem Kanal ein TDMA-Verfahren verwendet wird.
41. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem der Sender ein mobiles Endgerät eines Nutzers ist und vor der Übertragung der

Symbole zu einer Basisstation von der Basisstation Information über ein für die Übertragung zu nutzendes Frequenzband erhält.

- 5 42. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem eine als Empfänger fungierende Basisstation eingehende Signale eines als Sender fungierenden mobilen Endgerätes mit einer Mehrzahl Modulationsarten prüft und eine als zutreffend erkannte Modulationsart für den Empfang der Signale des mobilen Endgerätes verwendet.
- 10 43. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, bei dem eine als Empfänger fungierende Basisstation eingehende Signale mit Hilfe einer Mehrzahl Empfänger empfängt, wobei jedem Empfänger eine Modulationsart zugeordnet ist, und ein als Sender fungierendes mobiles Endgerät eine der senderseitig zur Verfügung stehenden Modulationsarten zur Übertragung von Symbolen zur Basisstation verwendet.
- 15 44. Sender, ausgebildet zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche.
- 20 45. Sender zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
mit einer Sendeeinheit, die ausgebildet ist, logische Symbole repräsentierende Signale (nachfolgend als Symbole bezeichnet) zu erzeugen und auszusenden, wobei ein logisches Symbol entweder ein Bit oder mehrere Bits repräsentiert, und
- 25 mit einer Steuereinheit, die ausgebildet ist, anhand von vorliegenden Informationen über aktuelle Übertragungsbedingungen zwischen dem Sender und einem Empfänger der Symbole Steuersignale zu erzeugen und abzugeben, die der Sendeeinheit eine empfängerspezifische Sendeenergie vorschreiben, welche einem dem Empfänger zugeordneten oberen Grenzwert einer Fehl-Erkennungsrate oder einem im Vergleich

mit dem oberen Grenzwert geringeren Wert der Fehl-Erkennungsrate entspricht,

5 wobei die Steuereinheit zusätzlich ausgebildet ist, zur Erzielung der empfängerspezifischen Sendeenergie und gleichzeitig einer möglichst hohen Bitrate in Abhängigkeit von den aktuellen Übertragungsbedingungen zwischen Sender und Empfänger Steuersignale zu erzeugen und abzugeben, die der Sendeeinheit die Verwendung von Symbolen mit entsprechend angepasster Symboldauer, oder mit entsprechend angepasster Anzahl je Symbol übertragener Bits, oder mit entsprechend angepasster Symboldauer und entsprechend angepasster Anzahl je Symbol übertragener Bits vorschreiben.

15 46. Sender nach einem der Anspruch 44, bei dem die Steuereinheit allein gemäß der Alternative ausgebildet ist, zur Erzielung der empfängerspezifischen Sendeenergie und gleichzeitig einer möglichst hohen Bitrate in Abhängigkeit von den aktuellen Übertragungsbedingungen zwischen Sender und Empfänger Steuersignale zu erzeugen und abzugeben, die der Sendeeinheit die Verwendung von Symbolen mit entsprechend angepasster Symboldauer vorschreiben.

20 47. Sender nach einem der Ansprüche 44, 45 oder 46, bei dem die Steuereinheit ausgebildet ist, in Abhängigkeit von den aktuellen Übertragungsbedingungen zwischen Sender und Empfänger eine oder mehrere von einer Anzahl zur Verfügung stehender Anpassungsmöglichkeiten zu wählen und ein die vorgenommene Auswahl anzeigendes Steuersignal zu erzeugen und abzugeben, wobei zu den Anpassungsmöglichkeiten
25 die Anpassung der Symboldauer, die Anpassung der Anzahl je Symbol übertragener Bits, und die Anpassung sowohl der Symboldauer als auch der Anzahl je Symbol übertragener Bits zählen.

48. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 47, bei dem die Steuereinheit ausgebildet ist, die Sendeeinheit so zu steuern, dass kanalspezifisch im

5 zeitlichen Mittel die Sendeleistung und/oder die abgestrahlte elektrische Feldstärke und/oder die abgestrahlte magnetische Feldstärke und/oder die spektrale Leistungsdichte im Rahmen zulässiger Leistungsabstrahlung gleich einem vorgegebenen Maximalwert ist oder im Rahmen der technischen Auslegung des Senders maximal ist oder eine mit einer oder mehreren dieser Größen korrelierte Größe einen Grenzwert annimmt, der der maximal möglichen Sendeenergie pro Zeiteinheit im Rahmen zulässiger Abstrahlung entspricht.

10 49. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 48, bei dem die Steuereinheit ausgebildet ist, die aktuelle Fehl-Erkennungsrate auf Seiten des Empfängers oder den aktuellen Betrag der Rauschleistungsdichte zu schätzen.

15 50. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 49, bei dem die Steuereinheit ausgebildet ist, die Symboldauer oder die Anzahl der in einem Symbol enthaltenen Bits oder beides in Abhängigkeit von aktuellen Übertragungsbedingungen zwischen Sender und Empfänger dynamisch in einer bestehenden Verbindung oder einem laufenden Datenverkehr neu zu bestimmen und der Sendeeinheit durch entsprechende Steuersignale vorzuschreiben, und dass die Sendeeinheit ausgebildet ist, die vorgeschriebenen Anpassungen ohne Unterbrechung der Verbindung oder
20 des Datenverkehrs vorzunehmen.

25 51. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 50, bei dem die Steuereinheit ausgebildet ist, die der Symboldauer zeitlich kontinuierlich, alternativ quasi-kontinuierlich, alternativ in vorbestimmten Zeitabständen neu zu bestimmen.

52. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 51, bei dem die Steuereinheit ausgebildet ist, die Symboldauer kanalspezifisch, also auf jedem verwendeten Kanal individuell zu bestimmen.

53. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 52, bei dem bei dem die Steuereinheit ausgebildet ist, die Symboldauer T_{symbol} entsprechend der Formel

$$T_{symbol} = \frac{E_{min} \cdot \left(\frac{r}{r_0} \right)^\alpha}{P_{send}},$$

- 5 zu bestimmen, wobei E_{min} die Empfangsenergie ist, die dem Empfänger zugeordneten oberen Grenzwert der Fehl-Erkennungsrate entspricht, P_{send} die maximale Sendeleistung, r die Entfernung zwischen Sender und Empfänger, r_0 eine Bezugsentfernung und α einen Ausbreitungskoeffizienten bezeichnet.

- 10 54. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 53, bei dem die Steuereinheit ausgebildet ist, die Auswahl der Anzahl je Symbol übertragener Bits in Abhängigkeit vom aktuellen Wert einer empfängerseitigen Fehl-Erkennungsrate oder von einem aktuellen, empfängerseitigen Betrag der Rauschleistungsdichte vorzunehmen.

- 15 55. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 54, bei dem die Steuereinheit ausgebildet ist, die Anzahl je Symbol übertragener Bits kanalspezifisch anzupassen.

- 20 56. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 55, bei dem die Steuereinheit ausgebildet ist, die Anpassung der Anzahl je Symbol übertragener Bits dann vorzunehmen, wenn eine kanalspezifisch kürzeste Symboldauer bereits verwendet wird.

- 25 57. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 56, bei dem die Steuereinheit ausgebildet ist, denjenigen Symboltyp mit der höchstmöglichen Anzahl an Bits zur Übertragung auszuwählen, welche empfängerseitig den oberen Grenzwert der Fehl-Erkennungsrate nicht überschreiten lässt.

58. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 57, bei dem die Sendeeinheit ausgebildet ist, die Symbole jeweils auf eine Sequenz von Chips aufgeteilt auszusenden.
- 5 59. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 58, bei dem die Sendeeinheit ausgebildet ist, die Symbole in der Frequenz gespreizt auszusenden, indem sie sie mit einer von der Steuereinheit vorgegebenen Noise- oder Pseudo-Noise-Sequenz moduliert, wobei die Noise- oder Pseudo-Noise-Sequenz dem Empfänger bekannt ist.
- 10 60. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 59, bei dem die Steuereinheit ausgebildet ist, die von der Sendeeinheit zu verwendende Noise- oder Pseudo-Noise-Sequenz dynamisch der gewählten Symboldauer anzupassen.
- 15 61. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 60, bei dem die Steuereinheit ausgebildet ist, die Sendeeinheit zu einer Aussendung der Symbole anzusteuern, derart, dass die zur Verfügung stehende Kanalbandbreite voll genutzt wird.
62. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 61, bei dem die Sendeeinheit ausgebildet ist, die Symbole in der Frequenz gespreizt auszusenden.
- 20 63. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 62, bei dem die Sendeeinheit ausgebildet ist, die Symbole in Form eines Chirpsignals auszusenden.
64. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 63, bei dem die Sendeeinheit ausgebildet ist, die für einen jeweiligen Empfänger bestimmten Chirpsignale zeitlich zu überlagern.
- 25 65. Sender nach Anspruch 64, bei dem die Summe der in einem Zeitpunkt ausgestrahlten Sendeleistungen der sich überlagernden Chirpsignale

gleich der maximal zulässigen Sendeleistung auf dem jeweiligen Kanal ist.

- 5 66. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 65, bei die Sendeeinheit ausgebildet ist, die Symbole in Form einer CDMA-Sequenz oder im Rahmen eines FDMA-Verfahrens oder im Rahmen eines TDMA-Verfahrens zu übertragen.
- 10 67. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 66, bei dem die Steuereinheit ausgebildet ist, in Abhängigkeit von den aktuellen Übertragungsbedingungen zwischen Sender und Empfänger ein Steuersignal zu erzeugen und abzugeben, das der Sendeeinheit die Verwendung eines aus einer Vielzahl zur Verfügung stehender Vielfach-Zugangs-Verfahren (Multiple-Access-Verfahren) in der Kommunikation mit diesem Empfänger vorschreibt.
- 15 68. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 67, bei dem die Sendeeinheit mit einem Datenspeicher verbunden ist, welcher Sendeparameter oder Signalmuster unterschiedlicher Symboltypen enthält.
69. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 68, mit einer dispersiven Verzögerungsstrecke zur Signalspreizung.
- 20 70. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 69, mit einem Sequenzgenerator, der mit der Sendeeinheit verbunden und ausgebildet ist, zur Signalspreizung eine m-Sequenz zu erzeugen.
71. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 70, bei dem aussendbare Signale in einem Speicher abgelegt sind oder aus einer Schieberegisterstruktur ausgelesen werden können.
- 25 72. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 71, bei dem die Sendeeinheit ausgebildet ist, ein beliebiges auszusendendes Signal durch Ausführung

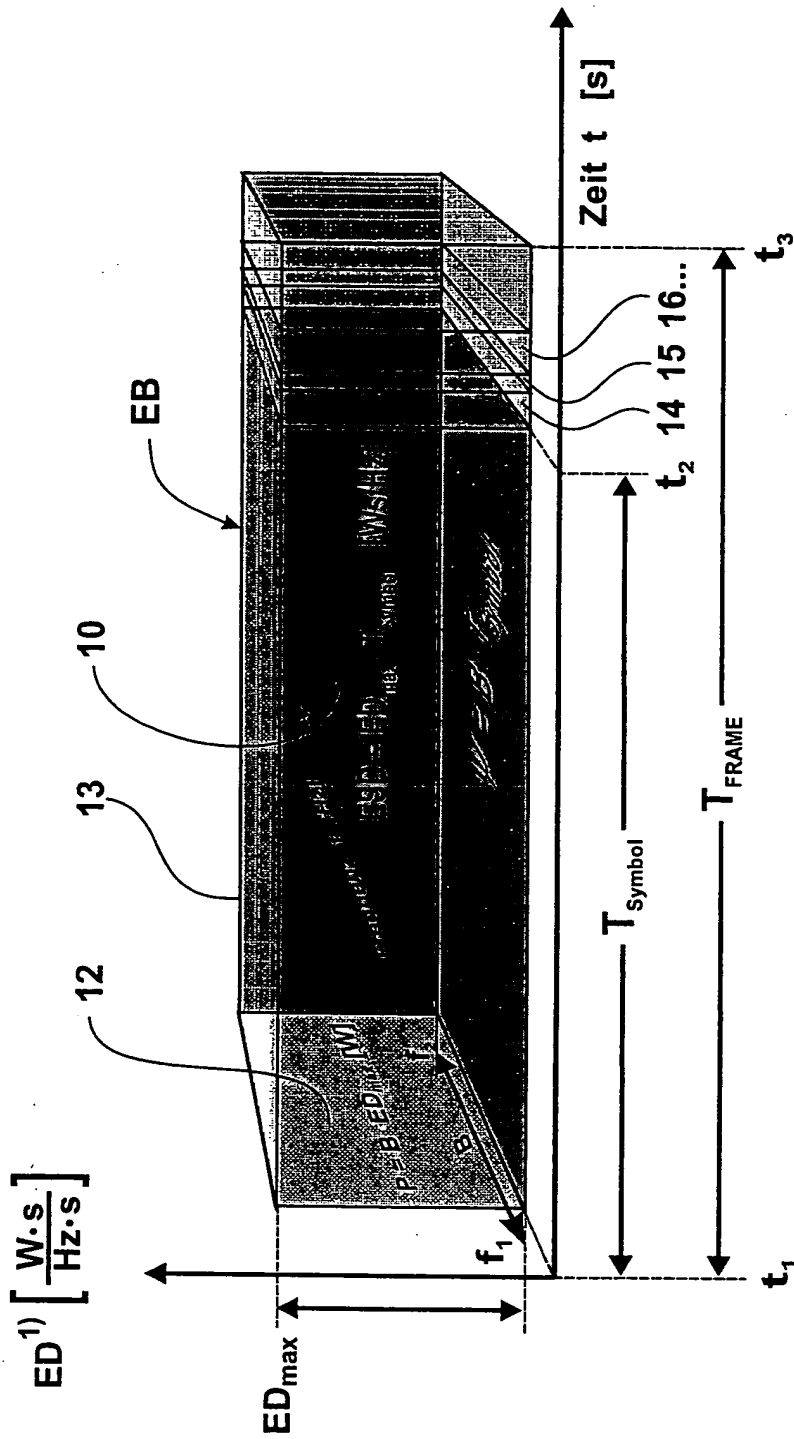
eines oder mehrerer Algorithmen zu erzeugen, die in Form einer entsprechenden Schaltung oder in Form von Software implementiert sind, und das jeweils aktuell auszusendendes Signal in Abhängigkeit von Steuersignalen der Steuereinheit zu erzeugen.

- 5 73. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 72, bei dem die Sendeeinheit einen Signal-Sequencer und eine diesem nachgeschaltete IQ-Modulatoreinheit aufweist, und ausgebildet ist, ein auszusendendes Signal nach seiner Erzeugung an den Signal-Sequencer und anschließend an die IQ-Modulatoreinheit zu leiten und dann direkt ins Trägerband zu konvertieren.
- 10
74. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 73, bei dem die Sendeeinheit ausgebildet ist, zu übertragende Signale intern digital zu erzeugen, und bei dem die Sendeeinheit einen Digital-Analog-Wandler aufweist, dem die intern erzeugten digitalen Signale vor der Abstrahlung zugeleitet werden.
- 15
75. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 74, mit einer programmierbaren Senderstruktur (Software Radio).
76. Sender nach Anspruch 75, bei dem die Senderstruktur dynamisch veränderbar ist.
- 20 77. Sender nach einem der Ansprüche 44 bis 76, mit einer Kanalschätzungseinheit.
78. Sender-Empfänger-Vorrichtung, mit einer Sendervorrichtung und einer Empfängervorrichtung, bei der die Sendervorrichtung die Merkmale des Senders eines der Ansprüche 44 bis 77 aufweist.
- 25 79. Sender-Empfänger-Vorrichtung nach Anspruch 78, die als ein mobiles Endgerät eines Nutzers ausgebildet ist und bei dem die Empfängervor-

richtung ausgebildet ist, von einer zugeordneten Basisstation Information über ein für die Übertragung zu nutzendes Frequenzband zu empfangen und diese Information vor der Übertragung von Symbolen zu der Basisstation an die Sendervorrichtung weiterzuleiten.

- 5 80. Sender-Empfänger-Vorrichtung nach Anspruch 79, die als BasisSende-Empfangs-Station (Base Transceiver Station) eines Mobilfunknetzwerkes ausgebildet ist.
- 10 81. Sender-Empfänger-Vorrichtung nach einem der Ansprüche 78bis 80, bei dem die Empfängervorrichtung ausgebildet ist, eine RSSI-Messung (radio signal strength indicator) einer von einer zweiten Sender-Empfänger-Vorrichtung über einen Kommunikationskanal empfangenen Leistung durchzuführen und der Sendervorrichtung ein vom Messergebnis abhängiges Signal zu übermitteln, und bei der die Sendervorrichtung ausgebildet ist, ein das Messergebnis repräsentierendes Signal an die zweite Sender-Empfänger-Vorrichtung zu übertragen.
- 15 82. Sender-Empfänger-Vorrichtung nach Anspruch 81, bei die Steuereinheit der Sendevorrichtung ihre Steuersignale in Abhängigkeit vom Ergebnis einer von der zweiten Sende-Empfangsvorrichtung her erhaltenen RSSI-Messung erzeugt. 83. Empfänger zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 43.
- 20 83. Empfänger zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 43.

Es wird vorgeschlagen, eine empfängerspezifische Regelung der Sendeenergie eines zu übertragenden Symbols durch Anpassung der Symboldauer oder durch Anpassung der Anzahl der mit dem Symbol übertragenen Bits oder durch beide Maßnahmen in Kombination vorzunehmen, jeweils unter Verwendung einer vorgegebenen Sendeleistung. Im Ergebnis bewirkt jede der vorgesehenen Maßnahmen zur Einstellung der Sendeenergie eine Anpassung der Symboldauer pro Bit, also des Verhältnisses der Symboldauer zur Anzahl der darin enthaltenen Bits. Maßgeblich für die Anpassung ist jeweils die Einhaltung, in einer Verfahrensalternative die Unterschreitung, eines oberen Grenzwertes einer dem jeweiligen Empfänger zugeordneten Fehl-Erkennungsrate, bei Verwendung der vorgegebenen Sendeleistung. Das erfindungsgemäße Übertragungsverfahren kann daher zur Verdeutlichung der Abgrenzung von Powermanagement-Verfahren auch als Energiemanagement in Form eines Bit-Dauer-Managements (Bit Duration Management, BDM) bezeichnet werden. Dies ist ein gravierender Unterschied gegenüber vorbekannten Verfahren, der eine völlig neue Netzwerkorganisation bedeutet, die als Energie-Budget-Management bezeichnet wird.



1) ED: Energiedichte nach Wigner - Ville

Fig. 1

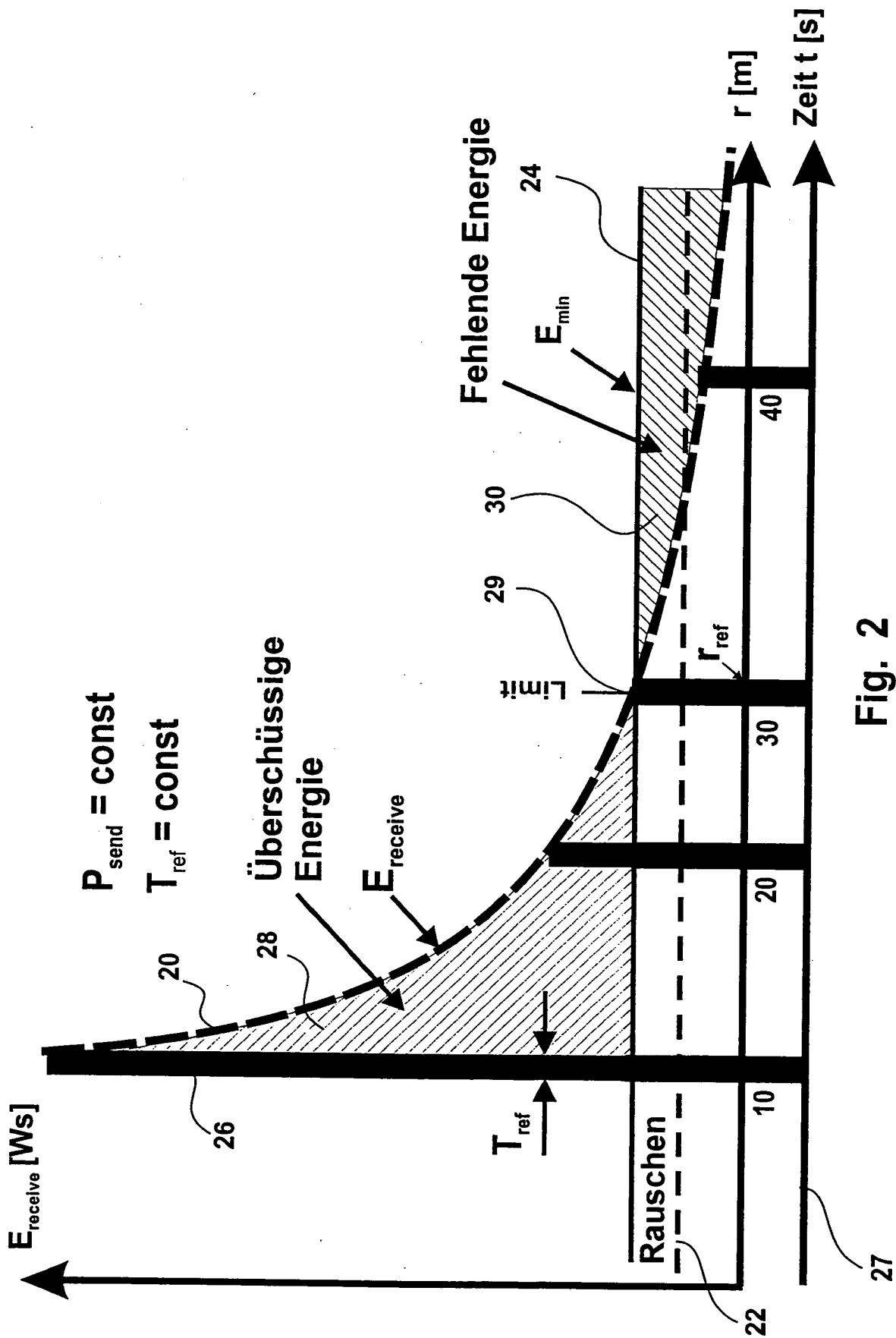


Fig. 2

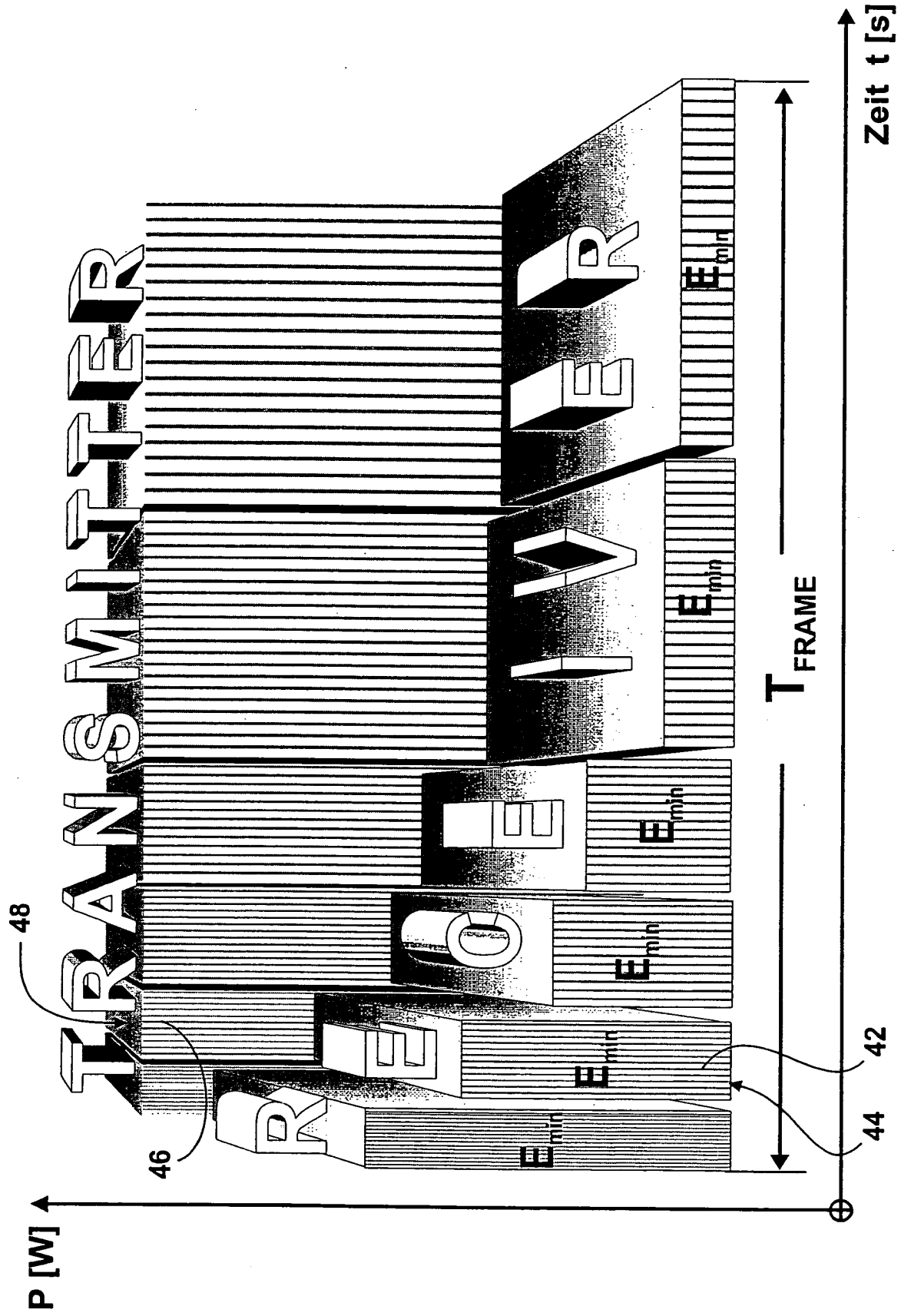
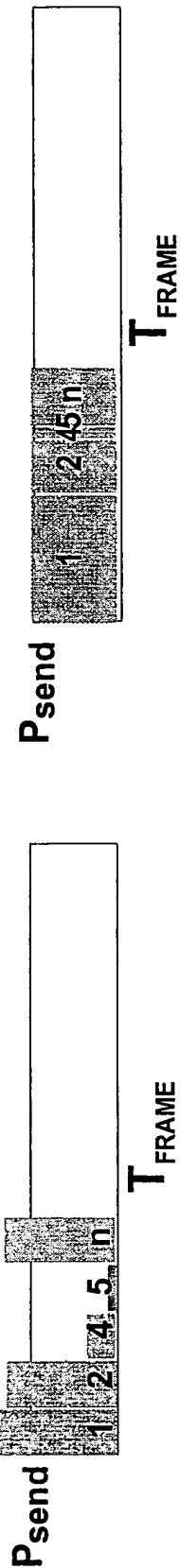
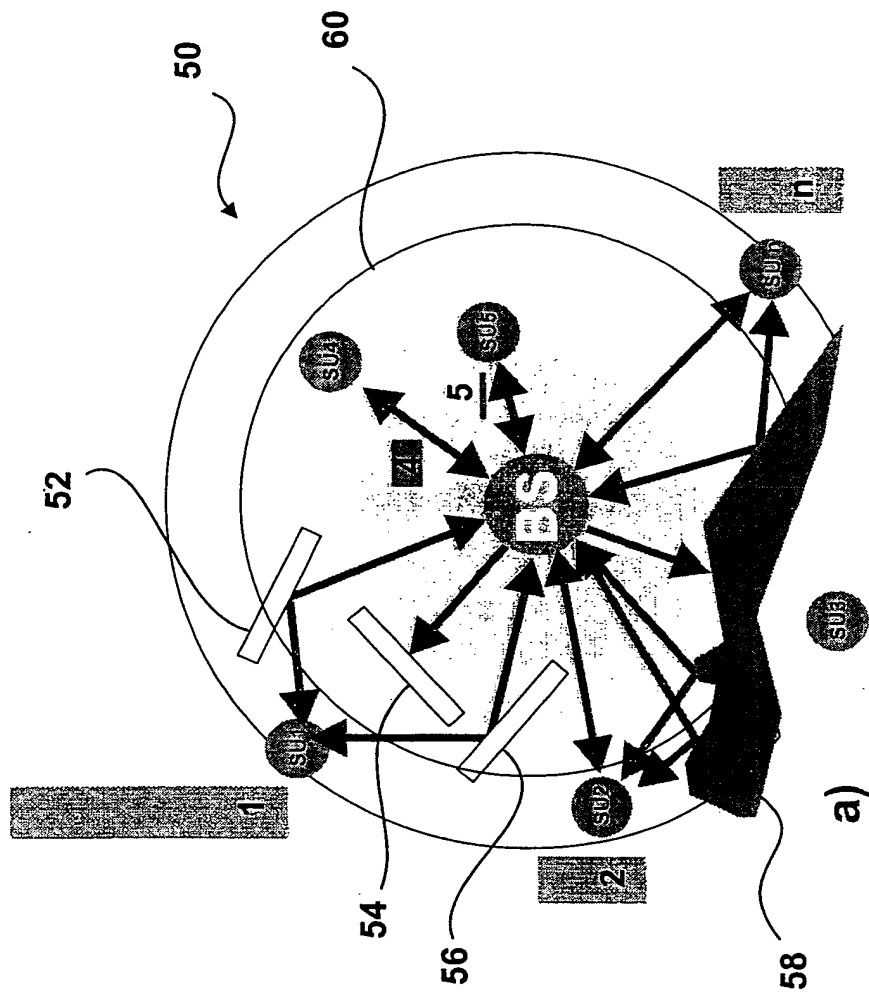


Fig. 3



b) POWER MANAGEMENT

c) DSM AND EBM

Fig. 4

EBM

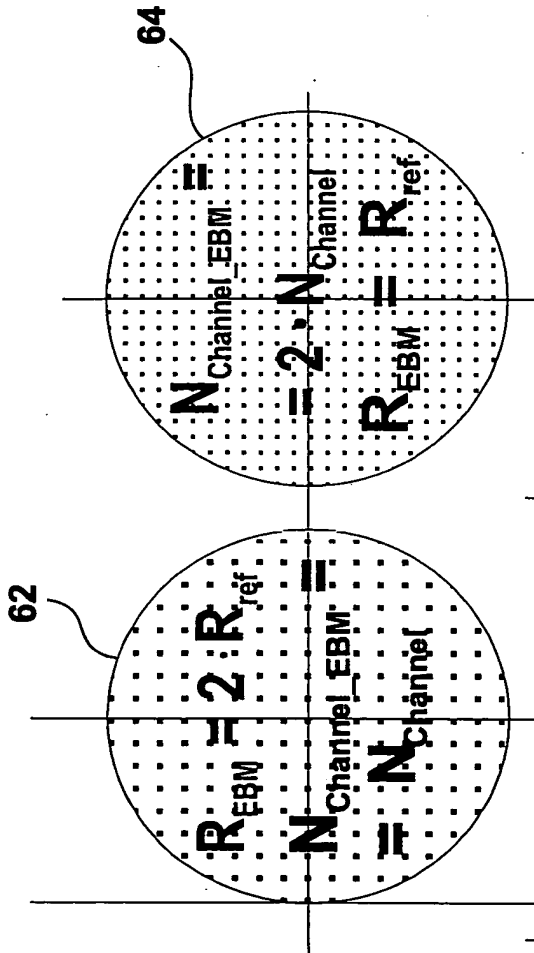
$$N_{\text{Channel_EBM}} = 2 \cdot N_{\text{Channel}}$$

$$N_{\text{Channel}}$$

EBM

$$R_{\text{EBM}} = 2 \cdot R_{\text{ref}}$$

$$R_{\text{ref}}$$



$$N_{\text{Channel_EBM}} = 2^{\frac{1}{2}} \cdot N_{\text{Channel}} = 1.41 \cdot N_{\text{Channel}}$$

$$N_{\text{Channel}}$$

$$R_{\text{EBM}} = (2)^{\frac{1}{4}} \cdot R_{\text{ref}} = 1.2 \cdot R_{\text{ref}}$$

$$R_{\text{ref}}$$

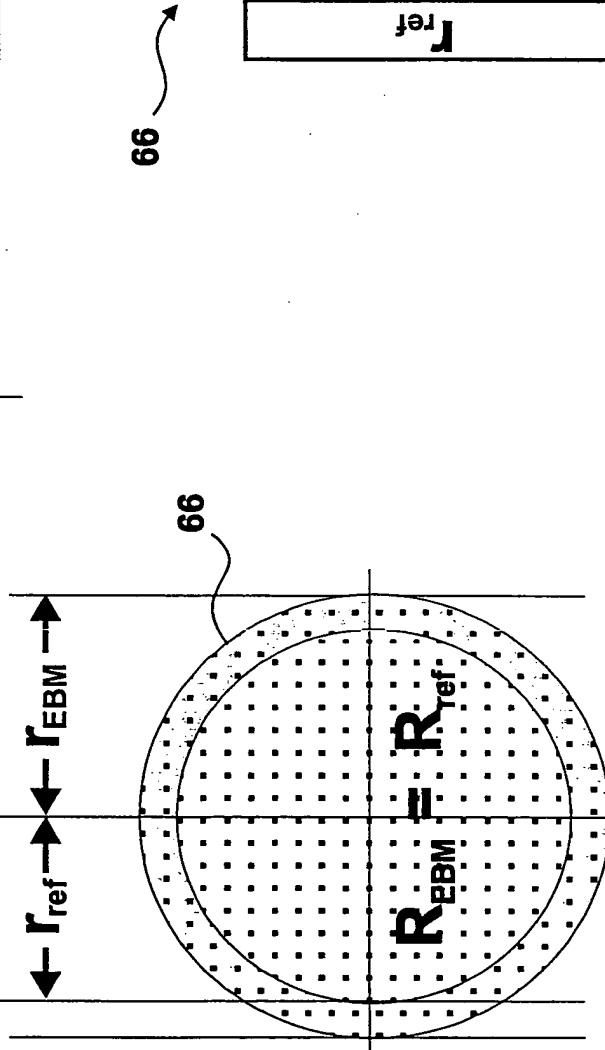


Fig. 5

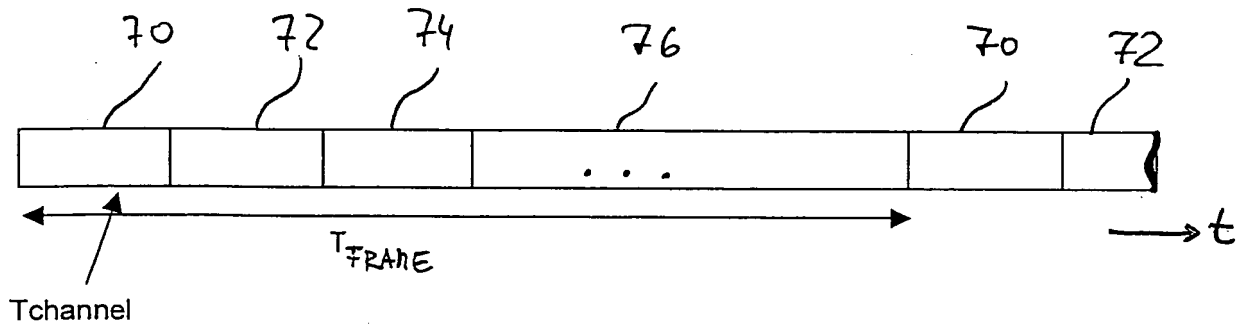


Fig. 6

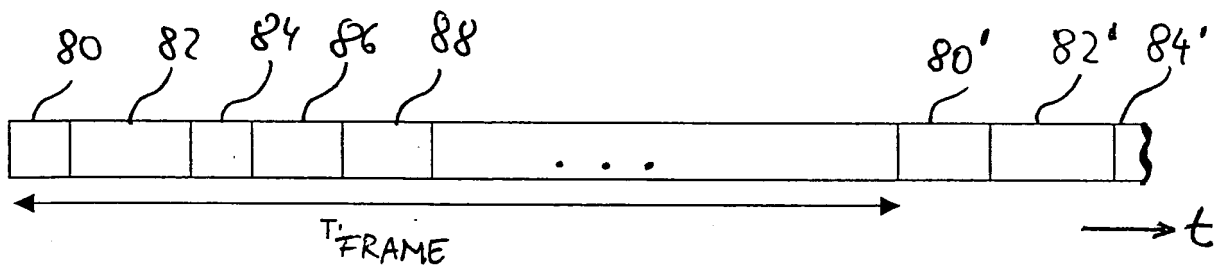


Fig. 7

Frequenz-
Spreizung

$$\nu = \frac{B}{R}$$

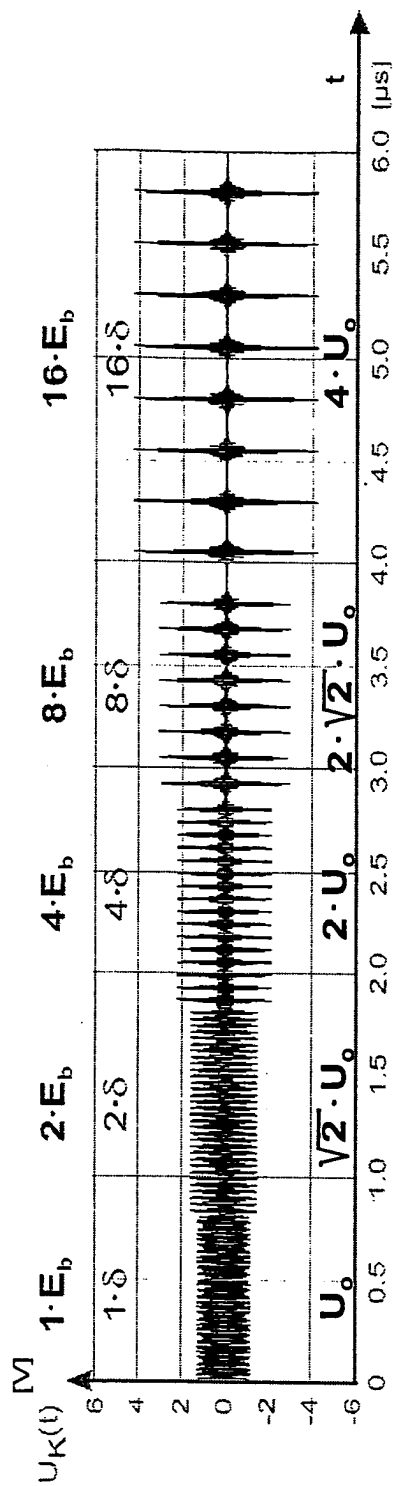


Fig. 8a

Zeit-
Spreizung

$$\psi = \frac{T_{\text{Chirp}}}{\delta} =$$

$$= T_{\text{Chirp}} \cdot B$$

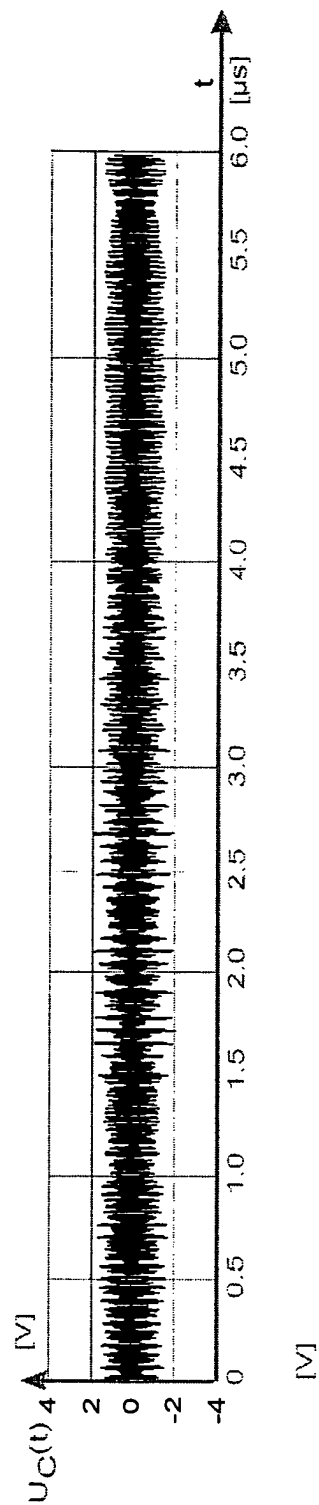


Fig. 8b

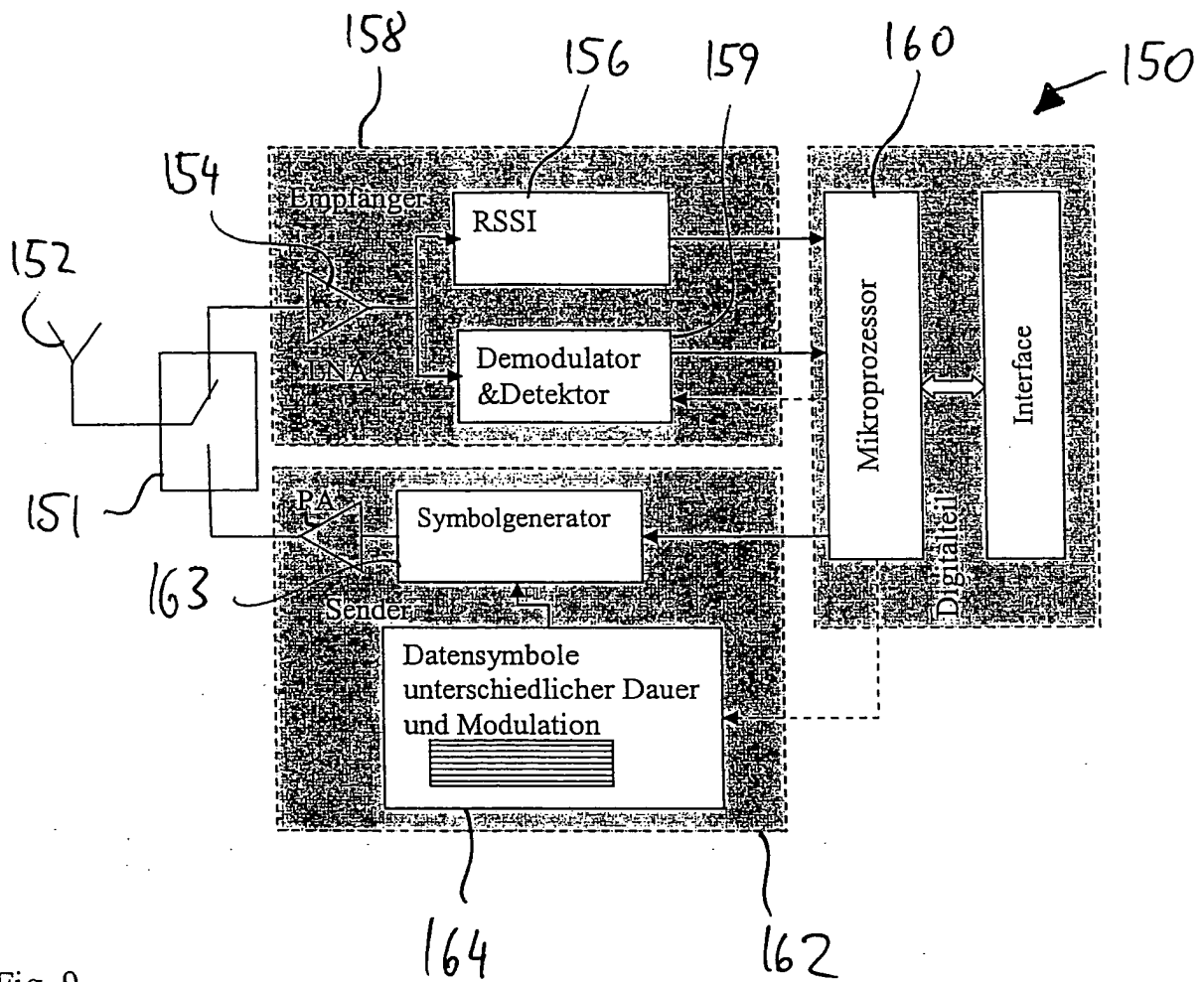


Fig. 9

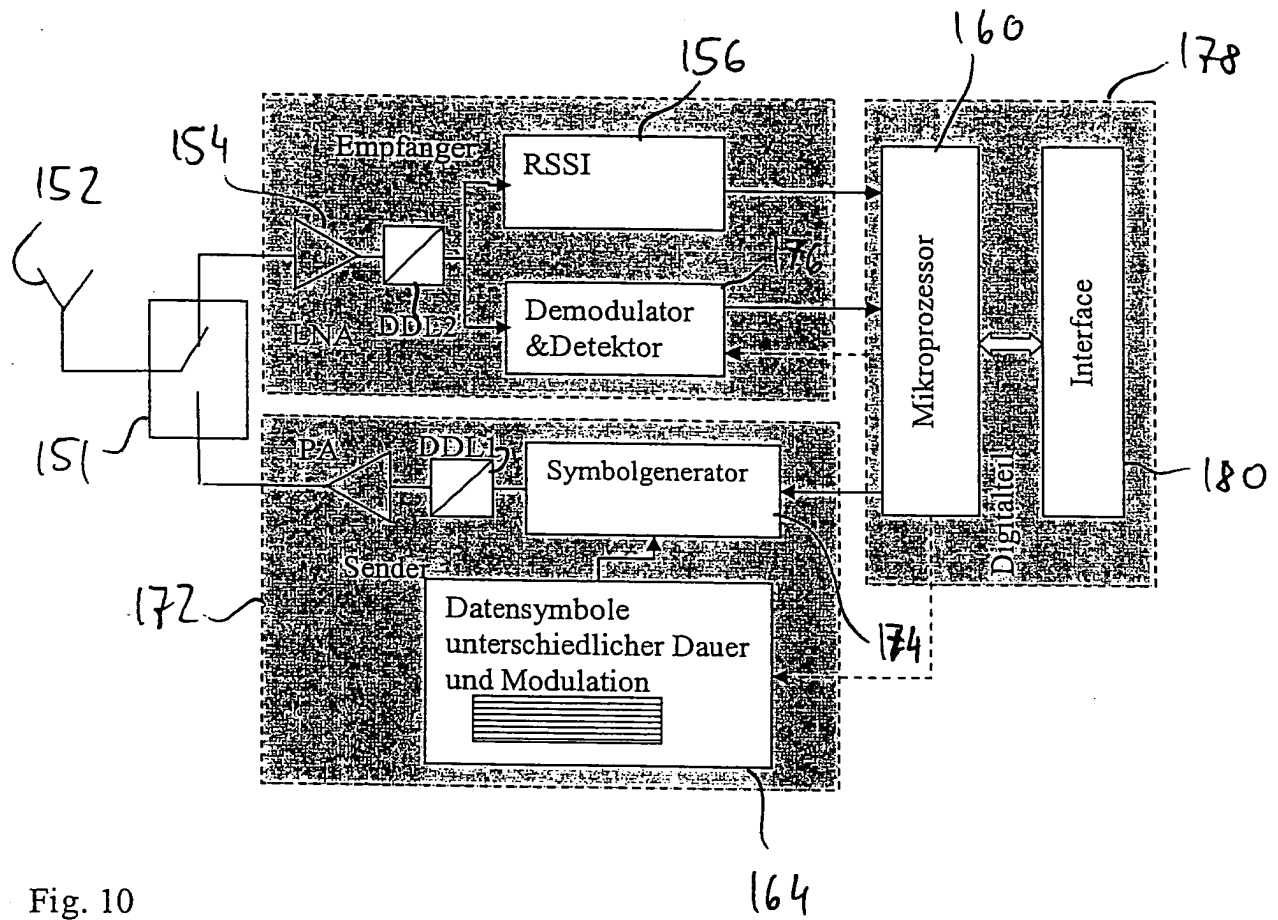


Fig. 10

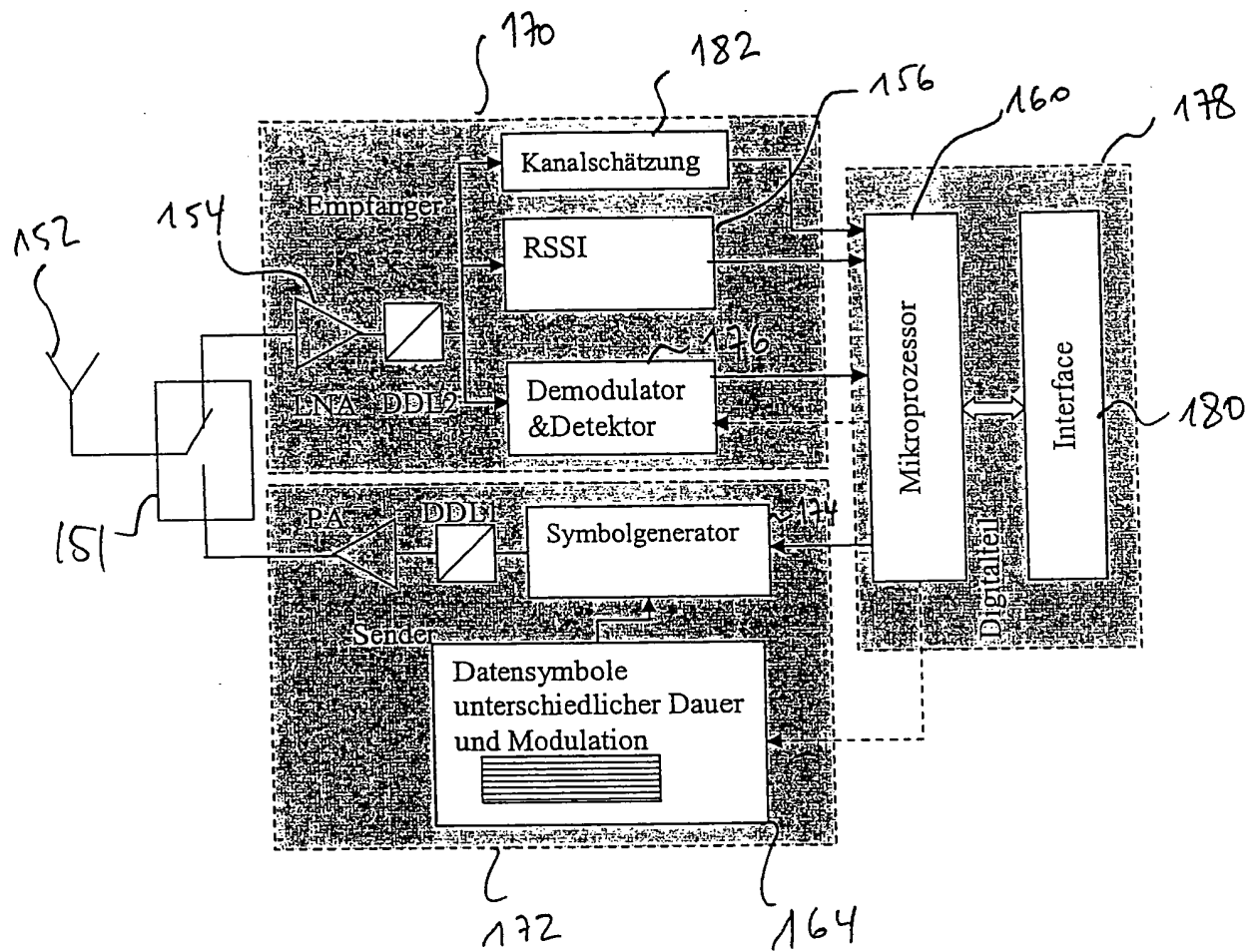


Fig. 11

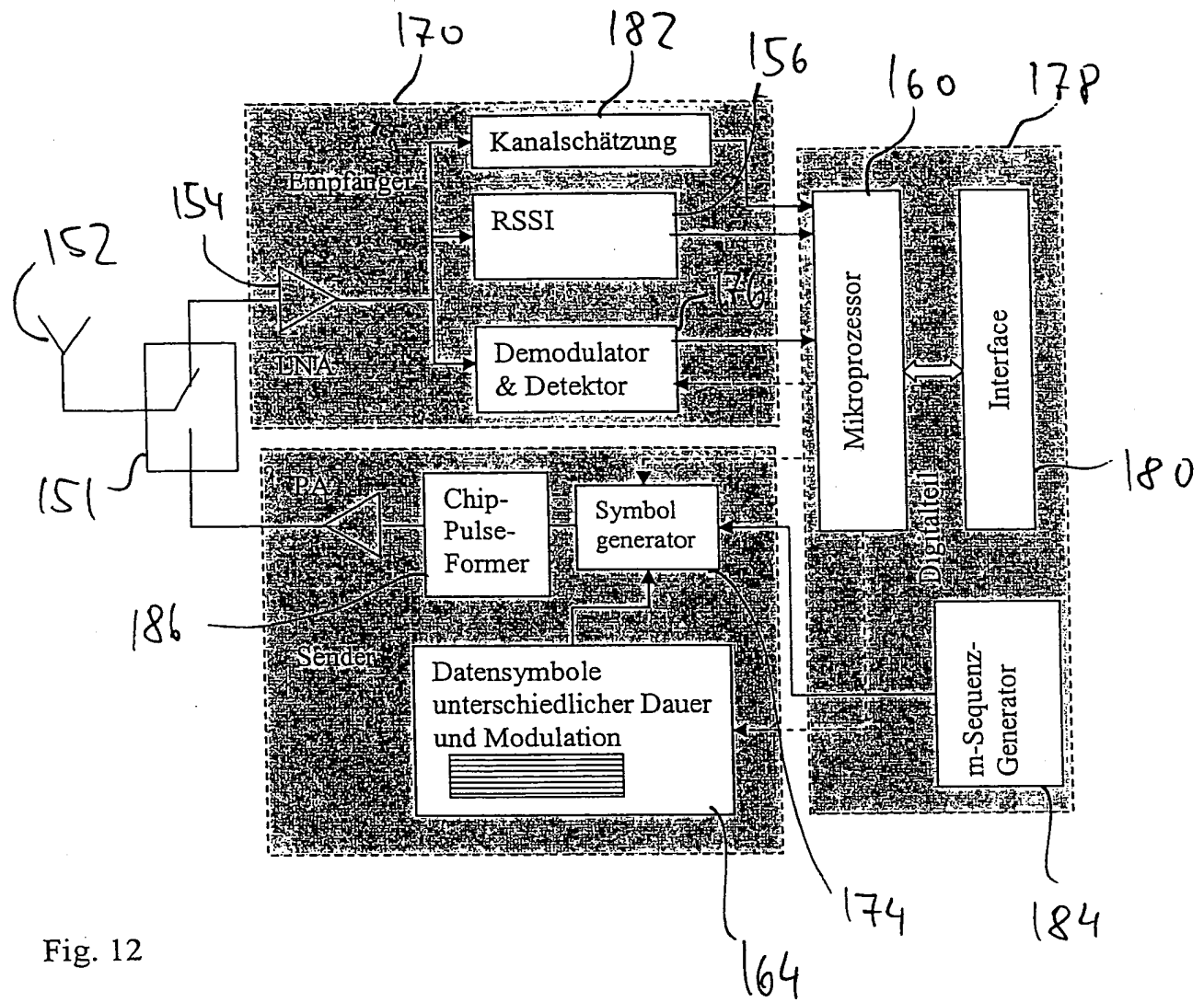


Fig. 12

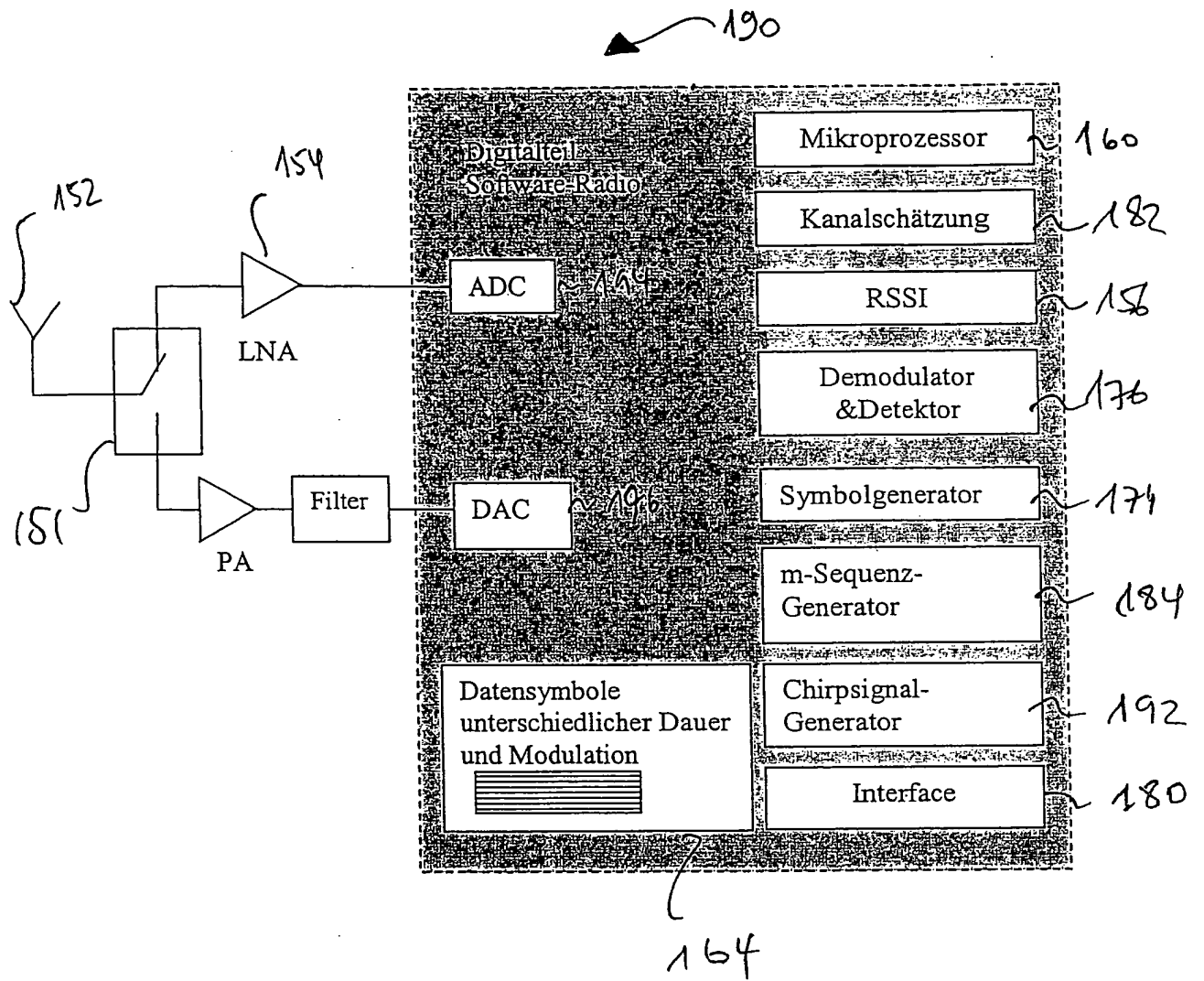


Fig. 13

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☒ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.